

# Uudet mittaus- ja tutkimusmenetelmät rakenteen parantamisen suunnittelussa (MISU-projekti)



Tielaitoksen  
selvityksiä  
23/1999

Oulu 1999

Tielaitos  
Tuotannon T&K

Tielaitoksen selvityksiä  
23/1999

**Uudet mittaus- ja tutkimusmenetelmät  
rakenteen parantamisen suunnittelussa  
(MISU-projekti)**

**Tielaitos**  
Tuotannon T&K

Oulu 1999

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-544-1  
TIEL 3200568

Oy Edita Ab  
Helsinki 1999

Julkaisua myy:  
Tielaitos, julkaisumyynti  
Puhelin 0204 44 2053  
Faksi 0204 44 2652  
S-posti elsa.juntunen@tieh.fi



**Tielaitos**  
TUOTANNON T&K  
Veteraaninkatu  
PL 555  
90101 OULU  
Puhelinvaihte 0204 44 158



**Uudet mittaus- ja tutkimusmenetelmät rakenteen parantamisen suunnittelussa (MISU-projekti).** Oulu 1999. Tielaitos, Tuotannon T&K, Tielaitoksen selvityksiä 23/1999. 46 s. ISSN 0788-3722. ISBN 951-726-544-1. TIEL 3200568.

**Asiasanat:** Tutkimusmenetelmät, parantaminen, suunnitteluprosessi, maatutka

**Aiheluokka:** 32

## TIIVISTELMÄ

Uudet mittaus- ja tutkimusmenetelmät rakenteen parantamisen suunnittelussa -projektin tavoitteena on selvittää sekä tilaajalle että suunnittelijalle uusien mittausmenetelmien käyttömahdollisuudet rakenteen parantamishankkeiden ja päällystekohteiden suunnittelun apuvälineenä. Teknisenä tavoitteena on linkittää mittaustulokset suoraan mikrotietokonepohjaiselle 3D-suunnitteluohjelmalle (EasyWay) lähtöaineistoksi.

Projekti aloitettiin vuonna 1997 kahdella Lapin tiepiirin parannuskohteella. Kohteet mitataan ja analysoidaan uusilla menetelmillä, jonka jälkeen ne suunnitellaan normaalisti saadun lähtöaineiston pohjalta.

Projektin vuoden 1997 yhteenvetona on esitetty parantamishankkeen prosessikuvaus mittausten kannalta katsottuna. Prosessit on kuvattu erikseen kahdelle eri parannushankkeen tyyppille, parantamis-päällystyshankkeelle ja parantamis-rakentamishankkeelle, jotka eroavat toisistaan merkittävästi. Päällystyskohteella tasaus ja linjaus säilyvät entisellään, mutta rakentamishankkeella parannettu tie voi saada vanhasta poikkeavan geometrian.

Lapin tiepiirin kohteet mt 930 ja mt 939 mitattiin kesän 1997 aikana maatutkalla luotaamalla, palvelutasomittausautolla, pudotuspainolaitteella, robottitakymetrilla ja routasondilla. Saadut tulokset siirrettiin mikrotietokoneelle, jossa niitä käsiteltiin erilaisilla ohjelmistoilla tulosten havainnollistamiseksi. Tuloksista pyrittiin löytämään oleelliset, rakenteen käyttäytymiseen ja kestävyteen vaikuttavat tekijät, jotka analysoitiin. Analyysin tulokset on esitetty esimerkkien avulla luvussa 6.

Uusia mittausmenetelmiä ja niihin oleellisesti liittyviä perinteisiä tutkimuksia on kuvattu niiden käyttökelpoisuuden ja rakenteen parantamisen suunnitteluun soveltuvuuden pohjalta. Tutkimusmenetelmien antamaa tietoa käytetään hyväksi vauriotyyppien analysoinnissa ja korjausmenetelmien alustavassa valinnassa.



## ALKUSANAT

Tienpidon kustannuksista merkittävän osan muodostavat parannustoimenpiteet, joilla parannetaan olemassa olevan tien kuntoa, kestävyyttä ja liikennöitävyyttä. Parannustoimenpiteet saattavat tulla toteutukseen lyhyellä suunnitteluajataululla, jolloin tutkimusmenetelmien on myös oltava nopeasti tuloksia antavia. Tutkimustulosten on toisaalta kuvattava riittävän hyvin tien tilaa ja annettava tarvittava suunnittelun lähtötieto.

Uudet rakennetta rikkomattomat tutkimusmenetelmät ovat käyttökelpoisia ja nopeita tien kunnon analysoimiseksi. Mittausmenetelmät eivät kuitenkaan ole vielä laajasti tunnettuja ja yleisesti käytettyjä ja kaipaavatkin siksi ohjeistusta. Tilaajan tulee tietää, mihin mittausmenetelmiä voidaan käyttää ja suunnittelijan on osattava käyttää mittaustuloksia hyväksi suunnitelman laatimisessa.

Mittausmenetelmien käyttöönoton ohjeistamiseksi käynnistettiin v. 1986 projekti, jossa ovat mukana Timo Saarenketo, Kalevi Luiro, Tapani Lakkala ja Kari Kärki Lapin tiepiiristä, Esko Koivu Uudenmaan tiepiiristä, Teuvo Kasari Vaasan tiepiiristä, Seppo Salmenkaita Oulun kehitysyksiköstä, Kalevi Toikkanen Tie- ja liikennetekniikan yksiköstä, Pekka Maijala Radarsoftista ja Kari Hietala Ins.tsto Pohjan Suunnittelu Ky:stä. Tämän raportin on pääosin kirjoittanut Kari Hietala.

Tämä raportti muodostaa prosessin ja menetelmien yleiskuvauksen. Eriksen raportoidaan projektin soveltava osa (TIEL 3200569), joka on samalla tämän ns. MISU-projektin (Mittaus ja SUunnittelu) loppuraportti.

MISU-projekti käynnistyi tilanteessa, jossa Tielaitoksen muutosprosessi oli meneillään. Raportissa käytetystä perinteisestä osapuolijaosta huolimatta prosessi ja menetelmät ovat täysin sovellettavissa KVVU-toimintamalliin ja kokonaispalvelujen tuottamiseen.

Oulussa, joulukuussa 1999

Seppo Salmenkaita  
Tuotannon T&K

---

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	9
2	PARANTAMISHANKKEET	11
2.1	Hanketyypit	11
2.2	Parantamis-päällystyshanke	11
2.2.1	Prosessikuvaus	11
2.3	Parantamis-rakennushanke	13
2.3.1	Prosessikuvaus	13
3	MITTAUSMENETELMÄT	15
3.1	Global Positioning System (GPS)	15
3.2	Geographical Information System (GIS)	16
3.3	Palvelutasomittausauto (PTM)	18
3.4	Maatutkaluotaus (GPR)	21
3.5	Pudotuspainolaite (PP)	22
3.6	Robottitakymetri (ROBOTAKY)	23
3.7	Maavastusluotaus (DC)	25
3.8	Routasondi	26
3.9	Näytteenotto	28
3.10	Video	29
3.11	Laboratorio	30
4	VAURIOTYYPIT	32
4.1	Päällysteestä aiheutuvat	32
4.2	Rakennekerroksista aiheutuvat	32
4.3	Alusrakenteesta/pohjamaasta aiheutuvat	32
5	KORJAUSTOIMENPITEET	34
5.1	Uudelleen päällystys	34
5.2	Kuormituskestävyyden parantaminen	34
5.3	Routakestävyyden parantaminen	34
5.4	Painumien korjaus	34
6	ESIMERKKEJÄ KOEKOhteilta	35
6.1	Esimerkkejä mt 930 Mellakoski - Mellajärvi tieanalyysidatasta (Timo Saarenketo)	35
6.2	Esimerkkejä mt 939 Kolari - Kurtakko tieanalyysidatasta (Pekka Maijala)	39
7	YHTEENVETO	46

## 1 JOHDANTO

Tierakenteen kestoikä riippuu rakenteen kyvystä kestää siihen kohdistuvia erilaisia rasitustekijöitä. Tierakennetta rasittavat liikennekuormitus ja ilmast-  
to-olosuhteet (routa) ja rasituksen sietokykyyn vaikuttavat rakenteen alla  
olevat geotekniset tekijät (maapohjan kantavuus- ja painumisominaisuudet).  
Päälysrakennekerrokset mitoitetaan lähtien liikkeelle kuormituskertaluvusta  
ja pohjamaan kantokyvystä sekä rakenteen roudan sietokyvystä. Tieraken-  
teen kestoikää voidaan kuvata kestoikämatriisilla (*Taulukko 1*), jossa kes-  
toiän voidaan nähdä määräytyvän erilaisten tekijöiden funktiona. Matriisin  
lisäulottuvuutena on kuivatus, joka vaikuttaa osaltaan kuhunkin funktion  
(matriisin) tekijään.

*Taulukko 1. Kestoikämatriisi*

	Liikenne	Routa	Geotekniset tekijät	Kestoikä
Päällyste	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$f(x)$
Rakenne	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$f(y)$
Pohjamaa	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$f(z)$
Kestoikä	$f(x_1, y_1, z_1)$	$f(x_2, y_2, z_2)$	$f(x_3, y_3, z_3)$	$f(x, y, z)$

Parantamissuunnittelu edellyttää vanhan tierakenteen ja pohjamaan tutki-  
mista. Vanhan tierakenteen perinteiset tutkimusmenetelmät ovat olleet  
kantavuusmittaus, kairaus ja näytteenotto. Tutkimukset ovat usein olleet  
puutteellisia ja niiden laajuus on vaihdellut hankkeittain huomattavasti, eikä  
varsinkaan päällystyshankkeilla ole juurikaan tutkittu vanhan päällysteen  
alapuolista rakennetta.

Vanhassa tiessä olevat päällysteen alle jätetyt korjaamattomat vauriot il-  
mestyvät yleensä ennalta arvaamattoman ajanjakson jälkeen uuteen tie-  
pintaan. Ajanjakso on yleensä lyhyt eikä vastaa kestoikää, joka tieraken-  
teella parannustoimenpiteistä aiheutuneisiin kustannuksiin nähden tulisi olla.

Vanhan tierakenteen tutkimiseen käytettävät mittausmenetelmät ovat kehiti-  
tyneet rakennetta rikkomattomien menetelmien suuntaan. Osa menetel-  
mistä on jo pitempään käytettyjä, kuten palvelutasomittaus ja maatulka-  
luotus. Useiden uusien mittausmenetelmien käyttöönoton on mahdollista-  
nut viimeaikainen tietotekniikan nopea kehitys. Mittausmenetelmien käyttö  
antaa edellytykset tarkempaan ja nopeampaan tien kunnon analysointiin.



## 2 PARANTAMISHANKKEET

### 2.1 Hanketyypit

Parantamishankkeet on jaettu tässä projektissa kahteen päätyyppiin, joista ensimmäinen on päällystyskohde, vanhaa tasausta ja tielinjaa alueineen noudattava parantamistoimenpide. Kohteeseen sisältyy usein kantavuuden parantaminen ja routavaurioiden korjaus. Toinen päätyyppi on parantamiskohde, jossa parannettu tielinja voi poiketa paikoin vanhasta ja tasausviivan korkeus voi muuttua vanhaan nähden.

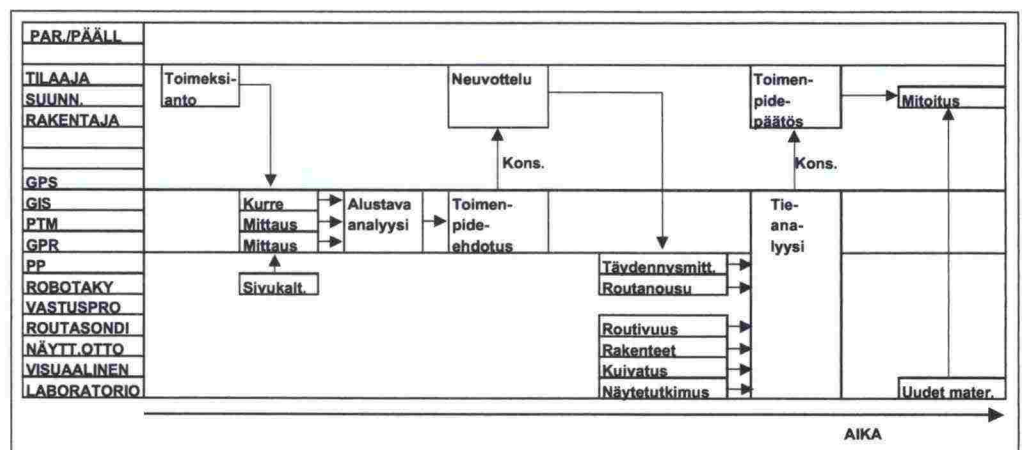
### 2.2 Parantamis-päällystyshanke

Kohde on yleensä pituudeltaan muutamasta kilometristä alle kahteenkymmeneen kilometriin oleva päällysteohjelmaan kuuluva tieosuus. Tieosuudella olevat päällystevauriot on inventoitu. Päällysteohjelmassa olevat kohdet voidaan tutkia jo kaksi vuotta ennen suunniteltua toimenpidevuotta.

Suunnittelu ei edellytä maastomallin laatimista, vaan mittaukset voidaan sitoa tierekisteriin tai muutoin tunnettuun tien keskilinjaan asemaan. Rakennussuunnitelmaa ei tarvita, mutta vauriokorjaukset on suunniteltava rakennussuunnitelmatarckkuudella rakenteiden ja kuivatuksen osalta. Toisin sanoen tekniset toimenpiteet on suunniteltava tarvittavalla tarkkuudella niin, että ne voidaan luotettavasti toteuttaa ja että tien uudet rakenteet voidaan raportoida tilaajalle vaaditulla tavalla.

#### 2.2.1 Prosessikuvaus

Tilaaja valitsee kohteen kaksivuotiseen päällysteohjelmaan omien seurantajärjestelmiensä (Pavement Management System) antamien tunnuslukujen perusteella. Parantamis-päällystysprosessin (Kuva 1) lähtökohtana on kaksivuotinen mittausohjelma, mutta prosessi voidaan tarvittaessa toteuttaa muutamassa kuukaudessa.



Kuva 1. Parantamis-päällystyshankeksen prosessikaavio

Tiestön kuntorekistereissä (KURRE yms.) olevat päällysteinventointi-, kantavuus- ja vauriotiedot siirretään GIS- (Global Information System) karttapohjalle tarkasteltavalla tielinjalla. Tarvittaessa, jos kohteessa esiintyy routavaurioita tai painumia, tienpinnan pituussuuntaiset epätasaisuudet (5m-IRI) ja urat mitataan palvelutasomittausautolla (PTM). Päällysteen ja kantavan kerroksen vahvuudet ja dielektriset ominaisuudet luodataan maatutkalla 1 GHz:n antennilla ja muut rakennekerrokset sekä pohjamaan laatu 500 MHz:n antennilla. Sivukaltevuus mitataan robottitakymetrimittauksella, GPS- (Global Positioning System) ajoneuvokartoituksella jatkuvana mittauksena, vaaitsamalla tai oikolaudalla 20 - 50 m:n välein. Nämä alkumittaukset tehdään ensimmäisen vuoden kesällä.

Saatujen rekisteri- ja mittaustietojen pohjalta arvioidaan tien päällysteen ja päällysrakenteen kunto sekä mahdolliset alusrakenteesta heijastuvat vauriot, kuten routa ja painumavauriot. Alustava analyysi tehdään ensimmäisen vuoden talvella. Analyysi tulostetaan GIS-karttapohjalle ja maatutkaluotauspohjalle, jossa esitetään hankkeen kannalta oleelliset havaintotiedot.

Laaditun analyysin pohjalta tehdään alustava arvio korjaustoimenpiteistä, niiden laajuudesta ja kustannuksista sekä toimenpiteiden vaikutuksesta tien kestoikään. Samoin esitetään jatkomittausohjelma ja arvio sen kustannuksista ja aikataulusta.

Tilaaaja, päällystesuunnittelija ja rakentaja kokoontuvat yhteiseen neuvotteluun, jossa mittausten tekijä esittelee alustavan analyysin tulokset. Tilaisuudessa päätetään tehtävät lisämittaukset ja -tutkimukset sekä lyödään lukkoon korjaustoimenpiteiden tavoitetaso.

Kohteen tarkemmat mittaukset tehdään seuraavana kesänä. Mittaukset aloitetaan maksimiroudan aikaan ja niitä jatketaan pitkin kesää mittausohjelman mukaisesti (*Luku 3 MITTAUSMENETELMÄT*).

Mittaustulosten perusteella laaditaan tieanalyysi, jossa jaotellaan tie homogeenisiin osiin rakenteen toimivuuden ja vauriotyyppien pohjalta (*Luku 4 VAURIOTYYPIT*). Analyysissä tehdään ehdotus käytettävistä korjausmenetelmistä (*Luku 5 KORJAUSTOIMENPITEET*).

Tilaaaja, päällystesuunnittelija ja rakentaja kokoontuvat neuvotteluun, jossa mittausten tekijä esittelee tieanalyysin. Tieanalyysin pohjalta tehdään päätös kohteella tehtävistä päällystys- ja korjaustoimenpiteistä tilaajan esittämien liikennemäärätietojen ja kestoikätavoitteiden perusteella. Toimenpidepäättös tehdään loppukesästä, jolloin routavauriot voidaan korjataan jo päällystämiskesää edeltävänä syksynä. Vauriokorjausten suunnittelun suorittaa tiesuunnittelija.

Parantamistyössä käytettävät materiaalit ja niiden seossuhteet tutkitaan ennakkokokeilla laboratoriossa (*Luku 3.11 Laboratorio*).



Päällystesuunnittelija suorittaa kohteen sidottujen kerrosten mitoituksen analyysissä esitettyjen lähtöarvojen ja laboratoriokokeiden tulosten pohjalta.

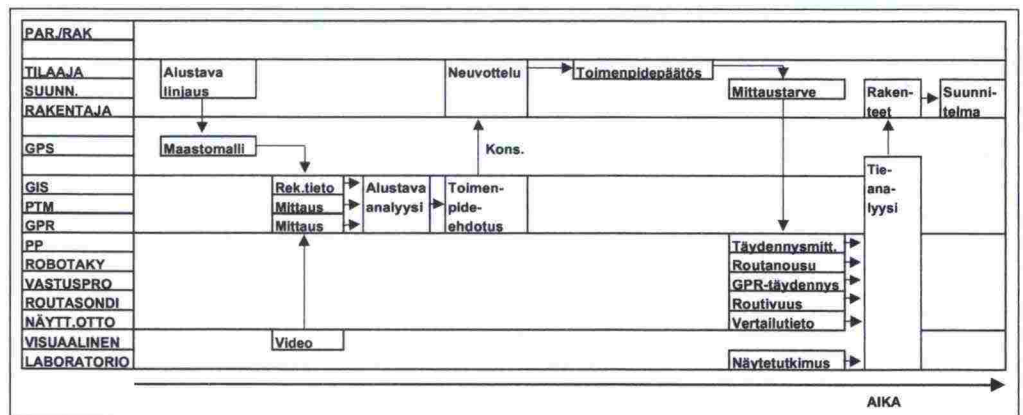
## 2.3 Parantamis-rakennushanke

Kohde on tavallisimmin geometrialtaan puutteellinen tai rakenteellisesti heikko tie, joka vaatii perusteellisemman korjauksen. Uusi tielinja noudattaa vanhaa tai hankkeeseen voi sisältyä geometrian parantamista. Kohteen suunnitteluajataulu voi olla kireä, eikä aikaa kattavien mittauksen tekoon aina ole.

Kohteesta on yleensä laadittava maastomalli ja rakennussuunnitelma.

### 2.3.1 Prosessikuvaus

Parantamis-rakennusprosessi käynnistyy suunnittelijan tilaajan toimeksian-  
nosta karttatyönä laatimalla parannettavan tien alustavalla linjauksella  
(Kuva 2). Linjaustyössä voidaan käyttää hyväksi olemassaolevaa GIS-  
kartta-aineistoa.



Kuva 2. Parantamis-rakennushankkeen prosessikaavio

Suunnittelukohde mitataan GPS-mittauksena tai ilmakuvauksena, josta saadaan suunnittelun pohjaksi maastomalli. Alustava linjaus sijoitetaan maastomalliin. Ensimmäinen mittauskierros tehdään laaditun alustavan linjauksen ja maastomallin pohjalta.

Tiestön kuntorekistereissä (KURRE yms.) olevat päällysteinventointi-, kantavuus- ja vauriotiedot siirretään GIS-karttapohjalle tarkasteltavalla tielinjalla. Palvelutasomittausautolla mitataan tienpinnan pituussuuntaiset epätasaisuudet (5m-IRI) ja urat vanhalle linjalle jäävällä osalla. Myös muut mahdolliset maaperätiedot esitetään GIS-muodossa. Maatutkan 1 GHz:n antennilla luodataan päällyste- ja kantavan kerroksen vahvuudet ja dielektriset ominaisuudet vanhalle tielinjalle jäävältä osuudelta ja 500 MHz:n antennilla muut rakennekerrokset, pohjamaan laatu sekä uusi tielinja.



Saatujen rekisteri- ja mittaustietojen pohjalta arvioidaan vanhan tien päällysteen ja päällysrakenteen kunto sekä mahdolliset alusrakenteesta heijastuvat vauriot, kuten routa ja painumavauriot. Uudella linjalla arvioidaan maaperän laatu (maalaji, routivuus). Alustava analyysi tulostetaan GIS-karttapohjalle ja maatutkaluotauspohjalle.

Laaditun analyysin pohjalta tehdään alustava tasaus, arvio parannustoimenpiteistä ja niiden laajuudesta sekä kustannuksista. Samoin esitetään jatkomittausohjelma ja arvio sen kustannuksista ja aikataulusta.

Tilaaaja, suunnittelija ja rakentaja kokoontuvat yhteiseen neuvotteluun, jossa mittausten tekijä esittelee alustavan analyysin. Tilaisuudessa päätetään tehtävät lisämittaukset ja -tutkimukset. Myös mahdollinen linjauksen ja tasausten muutos sovitaan tässä tilaisuudessa.

Neuvottelun pohjalta syntyy tilaajan antama toimenpidepäätös, jossa määritellään kohteella tehtävät parannustoimenpiteet ja niiden laajuus. Päätös koskee myös tien linjausta ja tasausta.

Alustavan analyysin ja käydyn neuvottelun pohjalta suunnittelija määrittää tarvittavat lisämittaukset ja -tutkimukset. Kohteen tarkemmat mittaukset tehdään suunnittelijan kanssa yhteistyössä laaditun ohjelman mukaisesti (*Luku 3 MITTAUSMENETELMÄT*).

Mittaustulosten perusteella laaditaan tieanalyysi, jossa jaotellaan kohteen vanhalle linjalle jäävältä osuudelta homogeeniset tieosat vaurioiden ja niiden syiden pohjalta (*Luku 4 VAURIOTYYPIT*). Vanhalle tielinjalle esitetään suositeltavat korjausmenetelmät (*Luku 5 KORJAUSTOIMENPITEET*). Uudelle linjalle tulevilta osuuksilta esitetään tarvittavat pohjanvahvistukset ja pohjamaan kantavuus- ja routivuusluokka.

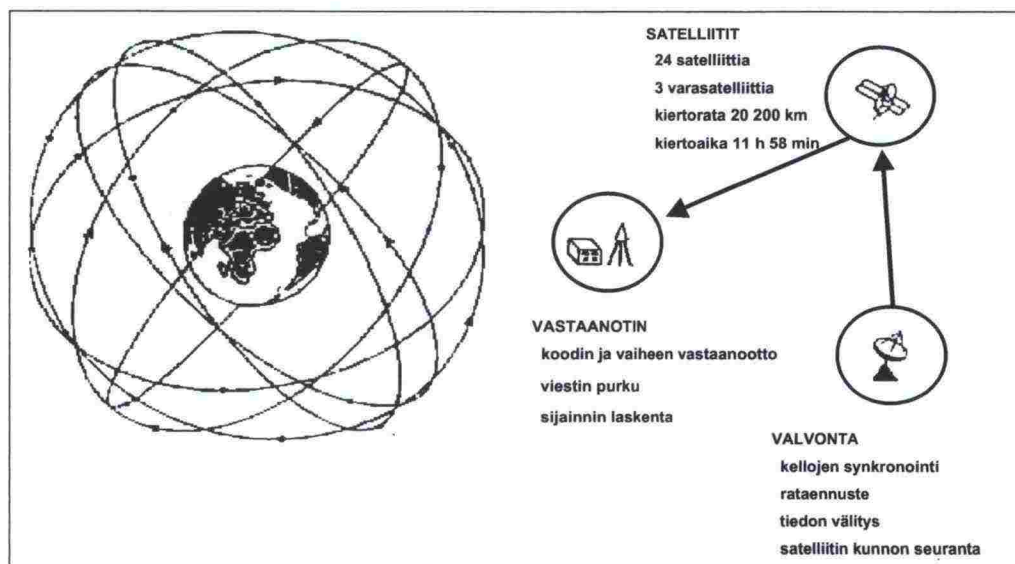
Suunnittelija määrittelee parannushankkeen päällysrakenteet ja pohjanvahvistukset mittaustulosten ja niiden antamien parametrien pohjalta. Käytettävät materiaalit, niiden laatuvaatimukset, saatavuus ja ottopaikat sovitaan yhdessä rakentajan kanssa.

Suunnittelija laatii yhteistyössä rakentajan kanssa parannustyön kokonais-suunnitelman, jossa määritellään lopullinen linjaus ja tasaus.

### 3 MITTAUSMENETELMÄT

#### 3.1 Global Positioning System (GPS)

Mittausmenetelmä perustuu maapalloa kiertäviin satelliitteihin, joiden kiertorata ja asema avaruuskoordinaatistossa tunnetaan. Mittaamalla satelliitin lähettämän tunnetun signaalin kuluaika vastaanottiin voidaan määrittää etäisyys satelliittiin. Kun havaitaan samanaikaisesti etäisyys useampaan tunnettuun satelliittiin, voidaan vastaanottimen sijainti määrittää (Kuva 3).



Kuva 3. Satelliittipaikannuksen (GPS) periaate

Reaaliaikainen GPS-mittaus tapahtuu mittaamalla satelliittien asema kertaalleen, jolloin mittaustapahtuma on nopea, mutta tarkkuudeltaan vaihteleva. Käyttämällä pitkää mittausaikaa, johon sisältyy useita peräkkäisiä mittauksia samaan satelliittiin nähden, saavutetaan hyvä mittaustarkkuus.

Reaaliaikaisessa GPS-mittauksessa käytetään kahta kaksitaajuusvastaanotinta, jotka kommunikoivat keskenään radiomodeemien välityksellä. Mittausmenetelmässä asemavastaanotin on tunnetulla pisteellä ja kartoitusvastaanotin voi toimia viiden kilometrin säteellä siitä. Vastaanotinta siirretään mitattavalta pisteeltä toiselle tai se voi olla kiinnitettynä mittausautoon. Näin saatu paikkatieto tallentuu suoraan haluttuun koordinaatistoon joko tallentimeen tai tietokoneelle.

Mittaustyön voi hoitaa yksi osaava, tehtävään koulutettu henkilö.

Laitteistolla voidaan mitata geodeettisia pisteitä myös käyttäen jälkilaskentaohjelmia. Geodeettiset pisteet muodostavat muille mittauksille luotettavan lähtöpisteistön. Geodeettiset pisteet ovat millimetritarkkoja pisteitä, jotka mitataan GPS:llä käyttäen pitkiä (45 min) havaintoaikoja ja tukevaa mittausverkkoa sekä jälkilaskentaohjelmia. Muutamia lähtöpisteitä on mitattu reaaliaikaisesti ja tarkkuus on ollut senttimetriluokkaa.



Näköesteet tai pimeys eivät haittaa työskentelyä. Riittävän mittaustarkkuuden saavuttamiseksi on oltava esteetön yhteys neljään satelliittiin. Satelliitti-geometria voi myös asettaa joitakin rajoituksia menetelmälle. Satelliitit voivat olla samalla sektorilla tai liian alhaalla horisontissa. Tällaiset tilanteet ovat aika harvinaisia ja voidaan välttää suunnittelemalla mittausjakso oikeaan ajankohtaan.

### 3.2 Geographical Information System (GIS)

Geographical Information Systems eli GIS-järjestelmät ovat karttapohjaisia paikkatietojärjestelmiä, jotka ovat voimakkaasti levinneet viimeisen kymmenen vuoden aikana lähes kaikille yhteiskunnan sektoreille. GIS-järjestelmä pelkistettynä tarkoittaa erilaisen paikkatietoon (x,y,z) sidotun laatu- tai määrätiedon analysointia ja esittämistä erilaisilla esitystekniikoilla digitaalisilla karttapohjilla, joiden mittakaava on vapaasti muunnettavissa halutun suuruisiksi. Karttapohjina voidaan käyttää topografikunnan karttoja, mutta myös esimerkiksi geologisia tai geofysikaalisia karttoja. GIS-pohjaisten analyysien suurimpana etuna onkin, että niiden avulla on helppo hahmottaa erilaisten muuttujien alueellista jakaumaa, ja siksi GIS:n käyttö on kasvanut etenkin yhteiskunnallisessa suunnittelussa sekä talouselämässä markkinoinnin ja kuljetusten suunnittelussa.

GIS-järjestelmät voidaan jakaa karkeasti erilaisiin osa-alueisiin, joihin kuuluvat

- erilaiset pohjakartat
- tutkittavat paikkatietotiedostot
- varsinaiset GIS-ohjelmat, joista yleisimmät ovat ArcView ja MapInfo
- muunto- ja tulostusohjelmat, joilla tulokset esitetään.

Kuitenkin tärkein linkki GIS-ohjelmistojen hyödyntämisessä on käyttäjä, jonka täytyy hallita tämä vielä varsin monimutkainen tutkimusprosessi.

GIS-järjestelmiä voidaan rakenteen parantamishankkeilla käyttää seuraaviin tehtäviin:

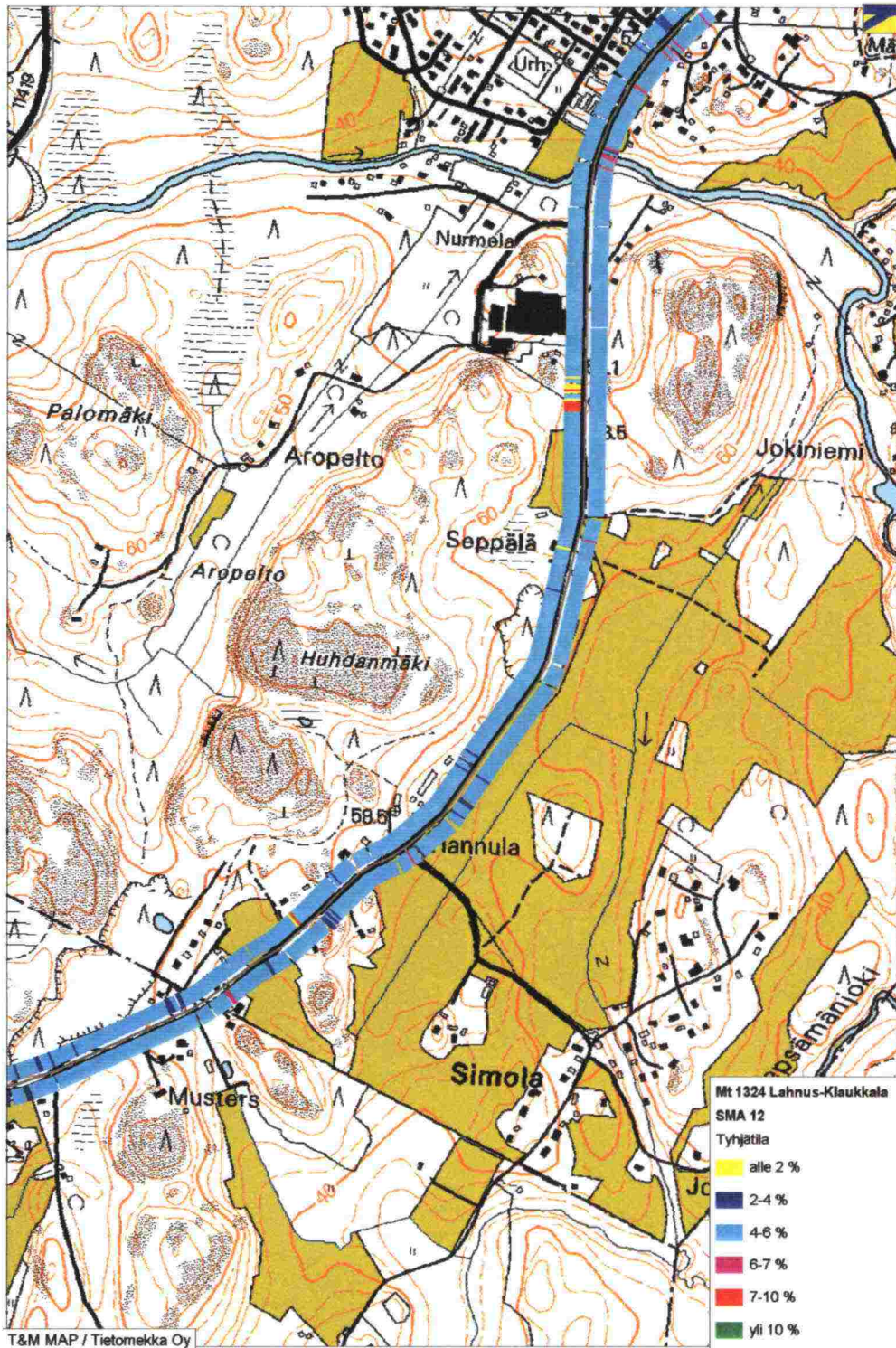
- A. Parannettavan hankkeen jo olemassa olevan paikka-/laatatiedon (esim. vanhat kairaukset) analysointi.
- B. Parannettavien tiekohteiden mittaus- (maatutka, PTM, PP-laite) ja kuntotietojen (PVI-tulokset yms.) yhdistäminen ja analysointi karttapohjalla. Tällä hetkellä tietoja analysoidaan joko taulukoissa tai pituusprofiileina, joilloin tien kunnon maantieteellisestä jakaumasta ei voida muodostaa käsitystä.
- C. Parannettavan tien pohjasuhteiden arviointi erilaisten geologisten karttojen tai geofysikaalisten mittaustietojen pohjalta.
- D. Alustavan suunnitelman ja vaihtoehtoisten suunnitelmien ja niiden vaikutusten esittäminen karttapohjalla.



E. Rakenteen parantamishankkeen suunnitelmien eri elementtien esittäminen ja havainnollistaminen.

F. Parannettavan hankkeen laadunvalvontatulosten esittäminen (*Kuva 4*).

Tielaitoksessa GIS-tietoa voidaan esittää tällä hetkellä kahdella tavalla: toisessa paikkatieto on sidottu tierekisteriosoitteeseen, joka puolestaan on sidottu paikkatieto-ohjelmiin erillisellä GPS-mittauksella, ja toisessa mittauspisteiden koordinaatit (x,y,z) mitataan samanaikaisesti laatu-tietojen keräämisen yhteydessä esimerkiksi RDGPS-laitteella.



Kuva 4. Laadunvalvontatulosten esittäminen GIS:n avulla

### 3.3 Palvelutasomittausauto (PTM)

Päällystetyn tiestön kuntotilasta saatavia tietoja käytetään hyväksi Tielaitoksen PMS- (Pavement Management System) ja KURRE-hallintajärjestelmissä. Näihin järjestelmiin kerätään perustieto päällystetyn



tiestön kuntosuunnitelmasta, josta mitataan eri tavoin mm. urat ja pituussuuntainen tasaisuus, päällysteen vauriot ja tierakenteen kantavuus.

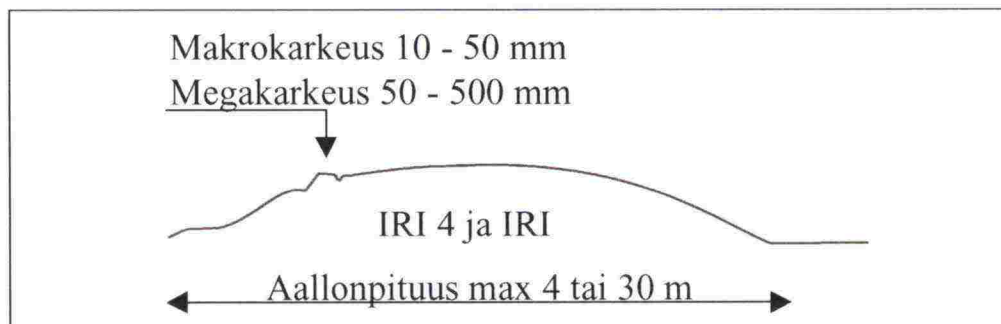
Liikennemäärätiedon ja kuntotietojen perusteella laaditaan mm. tiepiirien vuotuinen päällysteohjelma. Palvelutasomittaukset aloitetaan keväällä heti, kun tiestön pinta on paljas lumesta ja jäältä, mutta roudan vielä vaikuttaessa, ns. kevätmittauksilla. Varsinaiset kesä- eli kuntomittaukset aloitetaan kesäkuun alussa tai kun tierakenne on kokonaisuudessaan sulanut. Mittauksia voidaan suorittaa aina syyskuun loppuun saakka tai niin kauan kuin tiestön pinta on paljas lumesta ja jäältä. PTM-auton tuottamat tunnusluvut palvelevat osaltaan teiden kunnossapitoa, rakentamista ja liikenneturvallisuutta.

Palvelutasomittausauto on suunniteltu ja rakennettu monipuoliseksi päällystetyn tiestön eri ominaisuuksia mittaavaksi ajoneuvoksi. Sillä voidaan mitata tien urien syvyydet sekä kerätä tietoa päällysteessä tai tiellä olevista vaurioista.

Urien syvyydet mitataan auton edessä olevaan uramittauspalkkiin asennetun viidentoista ultraäänianturin avulla. Uramittausten mittausväli on 2,0 m ja tietojen tallennusväli 10,0 m. Samanaikaisesti voidaan mitata tien pituussuuntaista tasaisuutta eli ns. IRI-arvoa (International Roughness Index) ja siitä kehitettyä IRI4-arvoa (IRI4-arvosta on suodatettu pois aallonpituudeltaan yli neljä metriä pidemmät epätasaisuudet). Tämä mittaus tehdään laseretäisyysmittarin ja kiihtyvyyssanturin avulla.

Mittaukset voidaan tehdä luotettavasti muun liikenteen käyttämillä nopeuksilla 40 - 90 km/h ja tulokset ovat nopeudesta riippumattomia.

Ura ja poikkiprofiili- sekä tasaisuusmittauksen lisäksi autolla voidaan mitata dynaaminen rasisuunnitelmaksi (DRI) sekä makro- ja megakarkeus (Kuva 5). Dynaaminen rasisuunnitelmaksi kuvaa raskaan liikenteen tielle aiheuttamia rasisuunnitelmia. Makrokarkeudella tarkoitetaan päällysteen pinnassa olevaa aallonpituudeltaan  $\lambda = 10 \dots 50$  mm epätasaisuutta. Vastaavasti megakarkeuden aallonpituusalue  $\lambda = 50 \dots 500$  mm.



Kuva 5. PTM-auton mittausohjelman eri aallonpituudet

Visuaalisesti havaitut vauriot voidaan kerätä autossa olevan vaurionäppäimistön avulla. Samanaikaisesti on mahdollista kerätä 12 vauriotyyppiä.



Mahdollisia tallennettavia vaurioita ovat mm. poikki-, pituus- ja verkkohalkeamat sekä reiät ja erityyppiset paikkaukset.

Auton (Kuva 6) on suunnitellut ja rakentanut VTT:n tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio yhdessä VTT:n instrumenttitekniikan laboratorion kanssa.



Kuva 6. Lapin tiepiirin PTM-auto mittausvalmiudessa

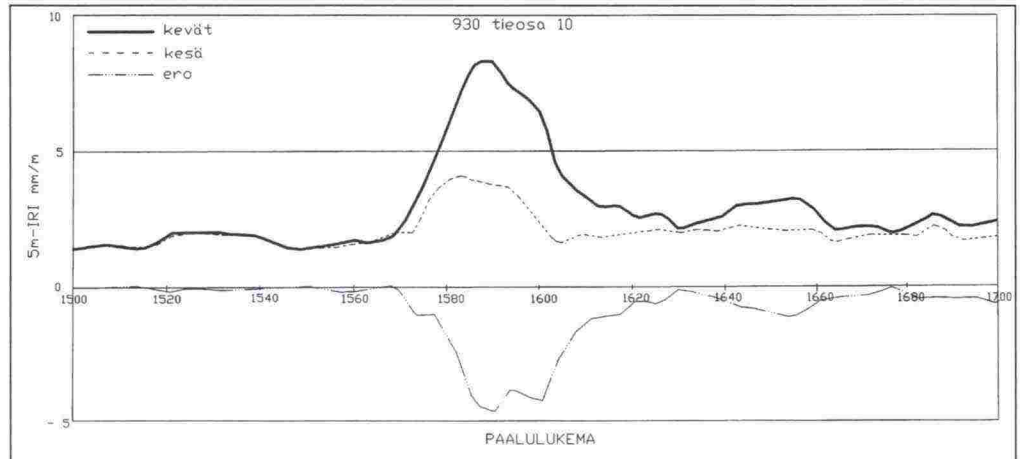
5m-IRI -mittaus on kehitetty nykyisen palvelutasomittauksen pohjalta muokkaamalla mittausta siten, että epätasaisuustiedot tiestä saadaan 5 m:n matkalta ja uratieto 10 m:n matkalta. Lyhyemmän havaintojakson tulosten ansiosta tiestövauriot pystytään paikallistamaan tieosittain erittäin tarkasti ja nopeasti (mittausnopeus 60 - 70 km/h).

5m-IRI -mittauksella pystytään myös paikallistamaan tiessä tapahtuvat muutokset routaantuneen ja roudattoman maan aikana (Kuva 7). Ensimmäinen mittaus toteutetaan roudan aikaan heti keväällä, kun tiet ovat pinnaltaan sulaneet ja kuivat. Toinen mittaus suoritetaan elo - syyskuussa, jolloin routa on sulanut. Tuloksia vertailemalla pystytään paikallistamaan routavauriokohdat, jolloin tarkemmat tutkimukset on helpompi keskittää kyseisille kohdille.

5m-IRI -mittaus ei ilmaise urautumista tai reunapainumaa, jos se on tasais- ta, mutta tieto saadaan uramittauksesta joko positiivisena uratietona (ajourat) tai negatiivisena (reunapainumat), jolloin esim. kantavuustutkimukset voidaan kohdistaa havaittuihin vauriokohtiin.

Tällä hetkellä tien pinnan sivukaltevuuksia ei saada Tielaitoksen PTM-mittauksien yhteydessä. Teknillisesti mittauksen suoritus PTM-autolla olisi mahdollista, mutta edellyttäisi erillisen mittauslaitteiston asentamista. Lait-

teisto ei tämän päivän hintatasolla ole kilpailukykyinen muihin kaltevuusmittausmenetelmiin verrattuna.



Kuva 7. Esimerkki selvästä routavauriosta, terävä poikkihalkeama ja routaheitto. Roudan aikana mitattu kevätarvo on jo liikenneturvallisuudelle vaarallinen, mutta roudattomana aikana tie on turvallinen

### 3.4 Maatutkaluotaus (GPR)

Maatutkalla voidaan nopeasti luodata tien kerrosrakenteista jatkuva pituusprofiili. Erittaajuisia antenneja käyttämällä vaikutetaan luotaussyvyyteen ja -tarkkuuteen.

Maatutka-aalto heijastuu rajapinnoilta, joilla väliaineen sähköiset ominaisuudet muuttuvat. Tierakenteessa ominaisuusmuutoksia aiheuttavat pääasiassa rakenteiden kosteus- ja tiiviyserot sekä raekoon vaihtelut. Tierakenteessa voidaan maatutkalla erottaa materiaaliominaisuuksiltaan eroavien rakennekerrosten lisäksi rakentamisen aikaisia tiivistysrajapintoja, päällysteen halkeamia, rakenteiden kosteusmuutoksia, tierumpuja, lohkarkeitä ja tiehen asetettuja teräsverkkoja. 1 GHz:n ilmakytketyn antennin tuloksesta, rajapintojen heijastusvoimakkuudesta, voidaan lisäksi laskea päällysteen ja kantavan kerroksen dielektrisyysarvo, joka on merkitsevä sähköinen ominaisuus rajapintojen syvyysmäärittämisessä.

Maatutkan pystyerotuskyky eli kyky havaita erillisiksi kerroksiksi lähellä toisiaan olevia kerroksia riippuu tutka-aallon pituudesta kyseisessä väliaineessa ja on noin puolen aallonpituuden luokkaa. 1 GHz:n antennilla erotuskyky on tiemateriaaleissa tyypillisesti 5 - 7 cm ja 500 MHz:n antennilla 10 - 15 cm. Pintaerotuskykyä voidaan kuitenkin parantaa rutiinioperaationa tehtävällä pintaheijasteen poistolla.

Rajapinnan syvyysmäärittäksen tarkkuus riippuu ensisijaisesti tulkitseijan kyvystä poimia oikea rajapinta ja arvioida kerroksen dielektrisyysarvo. Referenssikairauspisteitä käyttämällä saadaan virheeksi alle 5 prosenttia. Pituussuuntainen tarkkuus riippuu mittauspisteiden määrästä metrillä ja pai-



kannustarkkuudesta. Päälystetutkimuksissa käytetään 1 - 2 pistettä metrillä ja koko tierakenteen tutkimuksissa 5 - 10 mittauspistettä metrillä. Erityisesti referenssikairaukset tulee tehdä tutkaprofiileilta sellaisista kerroksiltaan tasapaksuista kohdista, joissa kairauspisteen siirto tai paikannusvirhe muuttamalla metrillä ei vielä muuta tulosta.

Tunkeutumisvyöhykkeen vaikuttavat antennin taajuus ja väliaineen sähköiset ominaisuudet. Korkeataajuinen signaali vaimenee nopeammin kuin matalataajuinen. Sähköisesti johtavat väliaineet, kuten savi tai suolattu tienpinta, vaimentavat signaalia tehokkaammin kuin sähköisesti eristävät materiaalit, kuten asfaltti, hiekka ja sora.

Tutka-aallon pituus ja tunkeutumisvyöhyke määrittävät eri antennien käyttöalueen. Yhdellä antennilla ei voi riittävällä tarkkuudella mitata koko tierakennetta. Korkeataajuisilla antenneilla, 1 - 2,5 GHz, mitataan tien pintarakennetta, päälysteen ja kantavan kerroksen paksuutta. 200 - 500 MHz:n antenneilla mitataan tien alempia rakennekerroksia ja alusrakennetta sekä tievaurioiden syitä.

Maatutkalla voidaan mitata tierakennetta ympäri vuoden. Parasta aikaa mittaukselle ovat kuitenkin kesä ja syksy, jolloin koko tierakenne on sula. Tällöin eri kerrosten väliset kosteus- ja siten dielektrisyyskontrastit ovat suurimmillaan. Huonoin aika mittauksille on keväällä, jolloin tierakenne on osittain sula ja osittain jässä. Tierakenteessa on tällöin ylimääräisinä kerroksina sulamisrajoja, jotka vaikeuttavat tulkintaa. Lisäksi dielektrisyysarvon arviointi on vaikeaa. Talvella tien päälyste- ja rakennemittauksia vaikeuttaa teiden suolaus.

### 3.5 Pudotuspainolaite (PP)

Pudotuspainolaite on dynaaminen kantavuuden mittalaite, jolla määritetään tien pinnan kimmainen taipuma. Mittauksessa määritetään maksimitaipuman lisäksi tien pinnan taipuma eri etäisyyksillä kuormituskohdasta (taipumasuppilo). Kuormitusimpulssin aiheuttama pinnan taipuminen mitataan mittapalkissa sijaitsevien mitta-antureiden avulla, joita Tielaitoksen käyttämissä laitteissa on kuusi kappaletta. Antureiden etäisyydet kuormituslevystä ovat 0, 200, 450, 600, 900 ja 1200 mm.

Lähellä kuormituslevyä mitatut taipumat kuvaavat päällysrakenteen yläosan ominaisuuksia ja taipumat etäällä kuormituslevystä alusrakenteen laatua.

Pudotuspainolaitteen avulla voidaan tierakennetta arvioida kantavuusarvon lisäksi taipumasuppilosta johdettavilla tunnusluvuilla. Laitteella voidaan mitata luotettavasti sekä sidotuilta ja sitomattomilta pinnoilta. Pudotuspainolaitteella mitattuja tuloksia voidaan analysoida, jatkojalostaa ja käyttää hyväksi erilaisissa tarkoituksiin kehitetyissä tietokoneohjelmissa.

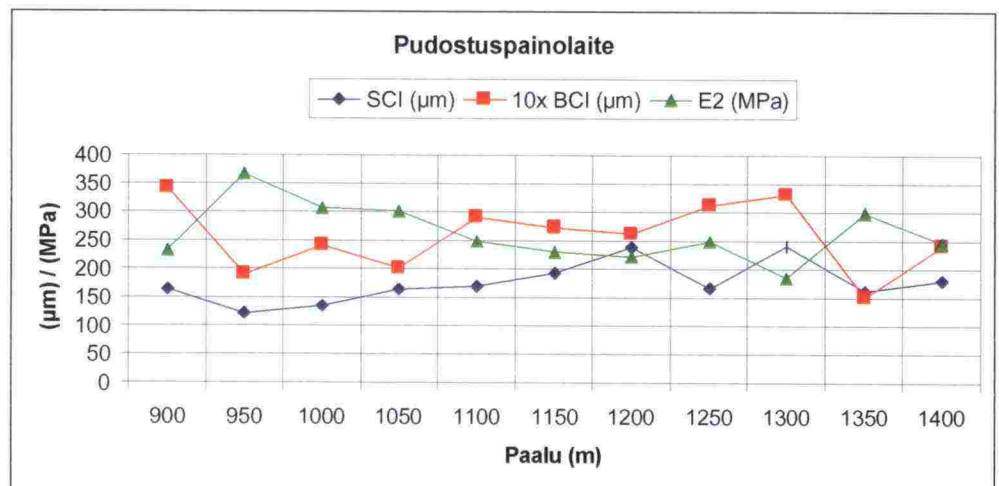


Kantavuusmittaukset palvelevat teiden suunnittelua, rakenteen parantamissuunnittelua, laadun valvontaa, koerakenteita ja muita seuranta- ja erityiskohteita. Tieräkisteriin kantavuuksia mitataan tieosittain noin 500 m:n välein, jolloin saadaan kuva tiestön keskimääräisestä tilasta. Rakenteen parantamiskohteissa mittaus suoritetaan yleensä 50 tai 100 m:n välein molemmilta ajoradoilta, jolloin saadaan huomattavasti parempi kuva kohteen mahdollisista tierakenteen kantavuuspuutteista.

Pudotuspainomittaukset tehdään kesäkaudella, jolloin tierakenne on sula. Kokonaan tai osittainkin jäässä oleva rakenne vaikeuttaa tulosten tulkintaa ja suurentaa mittaustuloksissa esiintyvää hajontaa. Nykyisessä mittauskäytännössä kausivaihtelu huomioidaan muuttamalla kesällä mitatut kantavuusarvot kevään sulamiskauden olosuhteita vastaavaksi. Tämä tapahtuu käyttämällä kokemuspäistä kevätkantavuuskerrointa, joka saa arvon 0,4... 0,8.

Kantavuusmittaustulosten käyttöä tierakenteiden analysoinnissa tutkitaan mm. Tien pohja- ja päällysrakenteet (TPPT) -tutkimusohjelman tuotteistamisprojektissa. Kyseinen projekti on tätä kirjoitettaessa vielä keskeneräinen, mutta tuonee valmistuessaan uutta tietoa mittaustulosten analysointiin ja hyödyntämiseen.

Tutkimuksessa pyritään määrittelemään mm. kuinka hyvin kesällä mitatusta taipumasuppilosta laskettu SCI-indeksi (Surface Curvature Index) selittää päällysrakenteen vaurioitumisen ja BCI-indeksi (Base Curvature Index) pohjamaassa tapahtuneet vauriot. Kuvassa 8 on esitetty eräitä PP-laitemittauksesta laskettuja tuloksia.



Kuva 8. Pintakantavuus E2 ja taipumasta lasketut indeksit SCI ja BCI

### 3.6 Robottitakymetri (ROBOTAKY)

Mittauksessa käytetään automaattisesti prismaa seuraavaa, jalustalleen asennettua takymetrilaitetta. Laite sijoitetaan mittaushahteele hyvälle nä-

köyhteydelle mitattaviin pisteisiin. Mittausajoneuvoon kiinnitetään tien pinnan muotoa seuraava prisma (Kuva 9) ja autolla ajetaan kuljettaen prismaa mitattavalla linjalla, kuten keski- tai reunaviivalla.



Kuva 9. Robottitakymetrilaitteisto

Takymetri orientoidaan normaalisti joko tunnetulle tai vapaalle asemapistelle, josta on suora näköyhteys mitattavaan kohteeseen. Prisma (esim. RTM 360 °) kytketään autoon, jolla ajetaan mitattava kohde mittausväliin suhteutetulla nopeudella. Yhdellä kertaa mittavan tieosuuden pituus voi olla noin 1 km esteettömästä näkyvyydestä riippuen.

Koekohteilla käytetty takymetri havaitsee liikkuvan prisman 0,4 sekunnin välein ja tallentaa kohteen koordinaatit (x,y,z) valittuun muistipaikkaan. Esimerkiksi ajonopeudella 6 km/h saadaan talletusväliksi noin 0,6 metriä. Laitteistona käytetään Geodimeter® System 600 GDM 610 servo-ohjattua takymetriä, jossa on nk. Autolock™- ja robottitoiminnot. Autolock™-toiminto on välttämätön mittaussäteen kiinnittymiseen prismaan automaattisesti.

Robottitoiminnolla koko mittaustapahtuman voi suorittaa yksi tehtävään koulutettu ammattitaitoinen henkilö. Em. laitteiston tarkkuudeksi valmistaja ilmoittaa tracking- (seuranta) mittauksella  $\pm 10 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$  (esim. 670 metrin mittauksen tarkkuus on  $\pm 12 \text{ mm}$ ). Lisäksi mittaustarkkuuteen voivat vaikuttaa samat tekijät kuin normaalissa takymetrimittauksessa tai vaaituksessa eli orientoinnin tarkkuus, lähtöpisteiden tarkkuus jne. Sen sijaan havainnoitsijan tähtäysvirheet eliminoiduvat autolockin ansiosta.

Mittaustapa soveltuu nopeutensa vuoksi erityisen hyvin routamittaukseen. Päivässä mitattava tiepituus voi kasvaa perinteiseen takymetrillä tehtävään routamittaukseen verrattuna jopa 5...10-kertaiseksi olosuhteista riippuen. Se



soveltuu myös tien maastomallimittaukseen, josta saadaan esim. tien sivukaltevuudet. Saatava datamäärä kasvaa yli kymmenkertaiseksi verrattuna perinteiseen routamittaukseen takymetrillä, jossa mittausväli vaihtelee 5...15 metriin.

Parhaiten robottimittaus pääsee oikeuksiinsa hyvissä näkyvyyssolosuhteissa, joissa pystytään yhdeltä kojeasemalta mittaamaan pitkiä pätkiä. Myöskään pimeys ei ole esteenä mittaukselle, sen sijaan esim. rekkaliikenne saattaa aiheuttaa katkoksia mittaukseen. Mittaamisen sujuvuuden kannalta lähtöpisteistön (monikulmiojono) olisi syytä olla luotettavassa kunnossa (koordinaatit pitävät paikkansa, ei hävinneitä pisteitä välillä).

### 3.7 Maavastusluotaus (DC)

Maavastusluotaus on sähköinen luotausmenetelmä, jolla voidaan erotella maaperässä olevia sähköisesti erilaisia kerrostumia. Kerrostumat voidaan luokitella sähköisen vastuksen ja referenssitiedon perusteella maalajeihin.

Menetelmä soveltuu käytettäväksi pehmeiköillä, jossa maatutkapulssi vaihenee nopeasti eikä anna tietoa riittävän syvältä. Mittauksella voidaan havaita painumisherkät saviset ja silttiset muodostumat.

Käytössä olevalla laitteistolla mittaus suoritetaan asentamalla maan pintaan upottamalla 41 elektrodia 5 metrin välein tutkittavalle mittauslinjalle, jonka tulee olla lähes suora. Elektrodit yhdistetään kaapelilla toisiinsa ja mittauslaitteistoon. Virtaa syötetään kerrallaan kahteen elektrodiin, joiden välille syntyy potentiaaliero. Potentiaalimittaus tehdään automaattisesti mikrotietokoneella ohjattuna kaikille elektrodipareille.

Mittaustulokset tallentuvat tietokoneen muistiin, josta ne siirretään mittausohjelman käsiteltäviksi. Ohjelma tulostaa mitatun leikkauksen piirroksena, jossa on eroteltu sähköiseltä vastukseltaan erilaiset maakerrokset (Kuva 10).

Maavastusluotaus on parhaimmillaan paikoilla, joihin maatutka ei aina sovellu, kuten johtavat siltti- ja savipehmeiköt. Maasto ei aiheuta rajoituksia, lukuun ottamatta kivistä pintamaata, johon voi olla vaikea asettaa elektrodia. Lisäksi mittauslinjan läheisyyteen on päästävä ainakin maastoajoneuvolla, laitteiden suuren painon ja määrän vuoksi.

Mittauksia ei kannata tehdä alueilla, joissa maasto on kivinen ja esimerkiksi kivien alla on kallio. Tuloksista on vaikea saada kallion rajapintaa näkyviin. Jos kivien alla on johtavaa maa-ainesta, mittaus voidaan suorittaa. Maatutkan avulla voidaan kartoittaa kriittiset alueet, joille maavastusluotaus voidaan kohdistaa.



Maavastusluotaus soveltuu hyvin

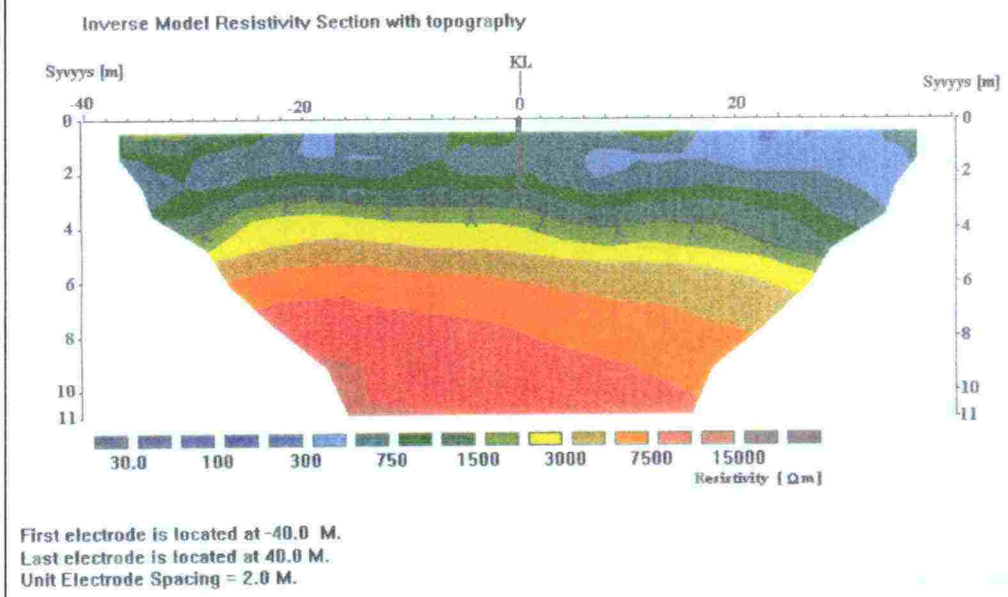
- pehmeikön paksuuden mittaamiseen
- kalliopinnan kulun ja syvyyden mittaukseen johtavan pintakerroksen alla
- johtavan aineksen kartoitukseen sora-alueella
- pohjaveden etsintään ja kartoitukseen.

Mittaustarkkuus riippuu elektrodivälillä, esim. 5 metrin elektrodivälillä mittaukset silttipehmeiköllä ovat osoittaneet syvyys-/kerrospaksuustarkkuuden olevan alle yhden metrin. Vuodenajan vaikutusta mittaustulokseen ei ole vielä testattu, mutta kun elektrodit upotetaan sulaan maahan asti, tulokset eivät eroa sulan maan tuloksista, paitsi routakerroksen osalta.

### Kemi - Tornio moottoritieprojekti

#### Kyläjoki P 1b

#### Poikkileikkaus pl. 1320



Kuva 10. Maavastusluotauksen tuloste silttipehmeiköltä

### 3.8 Routasondi

Routasondimittauksessa Percometer-merkkisellä suhteellisen dielektrisyys- ja sähkönjohtavuuden mittarilla määritetään maalajien routivuus. Dielektrisyys ( $\epsilon_r$ ) kuvaa aineen kykyä varautua ulkoisen sähkökentän vaikutuksesta. Sähkönjohtavuus ( $\sigma$ ) ilmaisee varausten kykyä liikkua väliaineessa sähkökentän vaikutuksesta.

Routivuuden määrittäminen voidaan tehdä kahdella eri menetelmällä, joko laboratorio-olosuhteissa tai maastomittauksena. Percometer-mittariin voidaan kytkeä kaksi erilaista sondia, pintasondi (laboratorio) tai putkisondi (maasto).

Laboratoriossa tienrakennusmateriaalien (murskeiden) routivuus määritetään ns. Tube Suction -kokeella. Murske käsitellään ohjeiston mukaan, jon-

ka jälkeen näyte asetetaan alttiiksi vedelle. Mittariin kytketään pintasondi, jolla tehdään sarja dielektrisyiden ja sähkönjohtavuuden mittauksia näytteen pinnalta. Saaduista mittaustuloksista muodostetaan käyrästä, josta määritetyn dielektrisyysarvon perusteella voidaan määrittää maalajin routimisherkkyys (Taulukko 2). Laboratoriossa ulkoiset olosuhteet ovat vakiot, joten käyttörajoituksia ei ole.

*Taulukko 2. Murskeen routivuusluokittelu dielektrisyysarvojen perusteella (T. Saarenketo)*

Dielektrisyys Er	Jäätymätön murske	Jäätynyt murske
< 4,5	avoin tai tiivistymätön murske, runsaasti huokostilaa, jälkitiivistymisongelmia	ei jäätymätöntä vettä, ei sulamispehmenemistä
4,5 – 6,5	optimimurske, korkea kantavuusarvo, routimaton	murske sisältää jäätymätöntä vettä, sulamisvaiheessa kantavuusongelmia
6,5 – 9,0	murskeella hieman liikaa kosteutta ja hienoaainesta, korkea kantavuus, routimaton	
9,0 – 14,0	murske sitoo liikaa vettä, lievästi routiva	
14,0 – 17,0	erittäin routiva murske, sulamisvaiheessa alhainen leikkausaljuus	
> 17,0	erittäin routiva murske	

Pohjamaalajien routivuusmittaukset tehdään maasto-olosuhteissa. Dielektrisyysmittariin kytketty putkisondi työnnetään maaperään (alkureikä), jonka jälkeen maalajin dielektrisyys ja sähkönjohtavuus voidaan lukea suoraan digitaaliselta näytöltä. Mittaukset tehdään tien ulkoluiskasta noin 1,0 m:n korkeudelta sivuojasta ennalta sovituin välimatkoin.

Maalajin routivuus määritellään oheisen routaluokituksen mukaan (Taulukko 3). Mittauksia voidaan tehdä kuivalla säällä, roudan sulamisen jälkeen ja sulamisvesien poistuttua maaperästä (huom! routivasta materiaalista ei aina poistu vesi). Rajoituksena maastomittauksiin ovat erittäin karkeat materiaalit, jolloin on varottava putkisondin rikkoontumista. Mittari ei kestä pakkasta, mikä rajoittaa maastomittausten tekoa talvella.

*Taulukko 3. Pohjamaan routivuusluokittelu dielektrisyiden ja sähkönjohtokyvyn perusteella (T. Saarenketo)*

Dielektrisyys Er	Sähkönjohtokyky $\sigma$ ( $\mu\text{S/cm}$ )	Maalaji	Routivuus	Kokoonpuristuvuus, stabiilisuus, nousupaine
< 8	< 8	kuiva Sr ja Hk	routimaton	
8 – 15	< 8	kuiva Mr	routimaton	
15 – 22	< 8	vedellä kyl- lästynyt Hk tai Sr	routimaton	huom! routiva, jos vesi virtaa tien alle
10 – 15	8 - 15	kostea siHk tai Mr	lievästi routiva	
15 – 22	15 - 20	märkä Mr	erittäin routiva	suuri nousupaine
20 – 26	8 - 15	ylikyllästynyt Mr	routiva	stabiilisuusongelmia
20 – 30	30 - 100	Si	erittäin routiva	ei kokoonpuristuvaa, korkea nousupaine
30 – 50	> 100	saSi, Sa	routiva	kokoonpuristuva

### 3.9 Näytteenotto

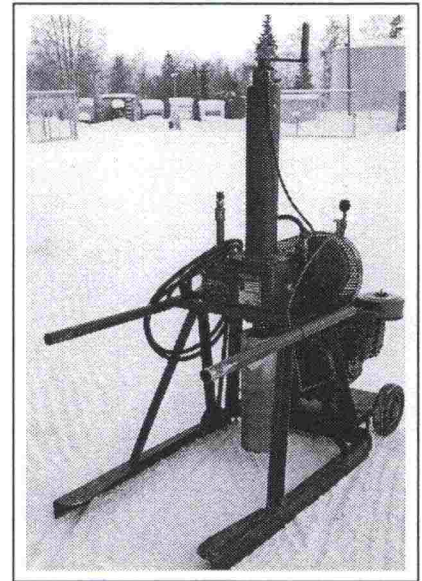
Näytteenotto on muita mittausmenetelmiä tukeva tarkistustoimenpide, joka on tehtävä aina. Näytteitä otetaan ensisijaisesti vanhasta päällysteestä ja kantavasta kerroksesta, mutta myös vauriokohtien alemmista rakennekerroksista ja alusrakenteesta. Näytteitä on otettava vähintään keskimäärin 1 kpl/km.

Päällystenäytteet otetaan poraamalla ja niistä mitataan päällystekerrosten vahvuus.

Kantavan materiaalin näyte otetaan luiskän puolelta päällysteen reunasta tai päällysteeseen sahattavasta 30 cm x 30 cm reiästä.

Alempien rakennekerrosten ja alusrakenteen näytteenotto tehdään auto-kairalla tai luiskän puolelta päällysteen reunalta koekuopasta.





*Kuva 11. Päälystenäytteiden otossa käytettävä pora*

### 3.10 Video

Tutkittava kohde kuvataan videokameralla, joka on sijoitettu muita mittauksia tekevään ajoneuvoon. Videointi sidotaan tielinjaan trippimittauksella, joka näkyy videonauhalla metrilukemana. GPS-ajoneuvossa videonauhalla näkyvät paikan koordinaatit. Kuvaaja sanelee nauhalle tekemänsä havainnot. Videolta voidaan suunnitteluvaiheessa tarkistaa tielinjan maaston muodot, kaltevuudet ja kuivatus.

Videolle tallennetaan kohteesta kuvan lisäksi selostus kohteeseen liittyvistä asioista, jotka kuvassa eivät välttämättä näy. Maatutkamittauksissa ajoneuvoon on asennettu pienikokoinen suunnattava kamera, joka kuvaa mitattavaa kohdetta. Kuvassa näkyy maaston lisäksi antenni, ajonopeus, päivämäärä ja ajettu matka. Mittaaja selostaa mikrofoniin kohteen lähtötiedot: sijainnin, tienumeron, tieosan pituuden jne. Video tallennetaan erilliselle nauhurille, joka on tavallinen VHS-kuvanauhuri.

Mittauksen aikana selostetaan nauhalle maastosta havainnot, jotka tarkentavat tulkkauksen tulosta. Tällaisia tietoja ovat mm. maaston muoto, kaltevuus, tien vauriot, maaperän laatu, tasaus, pengeri/leikkaus ja kuivatus. Erietyiset kohdat, kuten rumpujen paikat, voidaan merkitä vielä maatutkatulosteeseen.

Mittausajoneuvossa on kuljettajan lisäksi mittaaja, joka käynnistää videon ja selostaa havainnot. Videokuvaus hyödynnetään parhaiten kuvaamalla valoisaan ja lumettomaan aikaan.

Ajoneuvoon asennetun kameran lisäksi käytettävissä on kannettava kameranauhuri kuvan ja äänen tallentamiseen.

Tulevaisuudessa nauhuri vaihtuu digitaaliseksi, tietokoneen ymmärtämää tallennusmuotoa käyttäväksi. Videon käyttöä voidaan laajentaa ottamalla se

käyttöön erilaisten tiestötietojen keruuseen. Kameran voi asentaa palvelutasomittausautoon tai pudotuspainolaitteen vetoautoon.

Tietokoneeseen asennettavan videokortin avulla voi videonauhalla poimia yksittäisiä kuvia tai lyhyitä otoksia tietokoneen ruudulle ja muistiin ja siten yhdistää maaston tiedot ja kuvan.

### 3.11 Laboratorio

Laboratoriossa tutkitaan sekä vanhasta tierakenteesta otetut näytteet että uudet päällystämisesssä ja rakenteen parantamisessa tarvittavat materiaalit.

Päällystenäytteistä mitataan yleensä vain päällysteen paksuus. Mikäli vanha päällyste käytetään hyväksi uudessa päällysteessä tai stabiloinnissa, on siitä määritettävä myös sideaineen määrä ja rakeisuus.

Kantavan kerroksen näytteistä tutkitaan hienoainesmäärä ja hienoaineksen laatu sekä materiaalin rakeisuus ja vesipitoisuus.

Vanhasta rakenteesta otetaan päällystenäytteet, joista tutkitaan

- rakeisuus
- sideainepitoisuus
- näytteenoton yhteydessä paksuus.

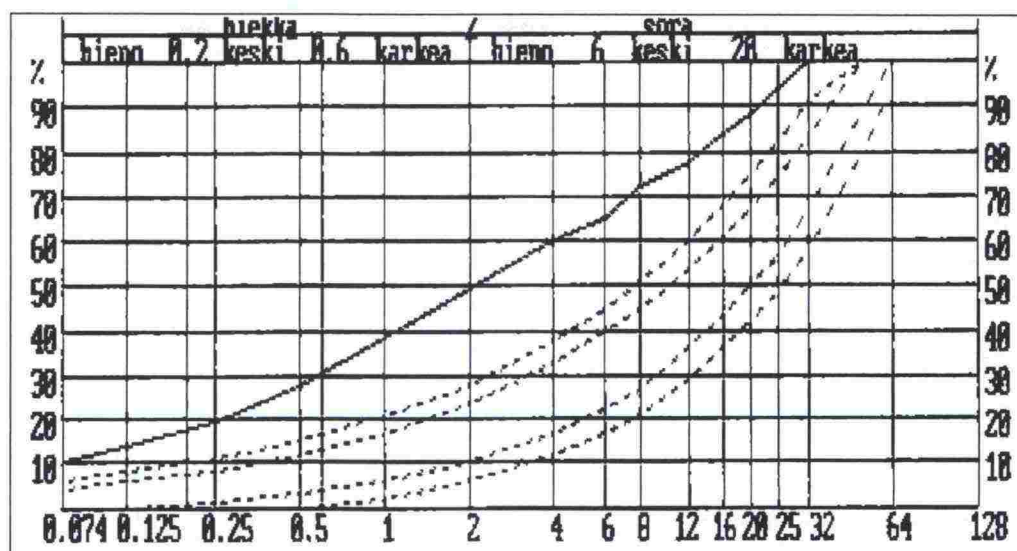
Kantavan kerroksen yläosasta, 0 - 3 cm:n etäisyydellä päällysteen alapinnasta, otetaan näytteet, joista tutkitaan

- rakeisuus (areometri, jos # 0,074 mm läpäisy > 5,0 %)
- vesipitoisuus
- veden adsorptio
- dielektrisyys ja sähkönjohtavuus (esim. imupainekoe).

Esimerkki huonolaatuisen kantavan kerroksen kiviaineksen rakeisuuskäyrästä on esitetty kuvassa 12.

Kantavan kerroksen keskeltä, 3 - 15 cm kantavan kerroksen pinnasta, tutkitaan rakeisuus ja vesipitoisuus. Kantavan kerroksen näytteistä saadaan rakeisuuden avulla materiaalin kantavuusluokka, routivuus ja hienonema. Lisäksi näytteenoton yhteydessä voidaan mitata kantavan kerroksen kokonaispaksuus.

Muista rakennekerroksista havaitaan niiden paksuus ja rakeisuus. Tutkimus voidaan tehdä autokairan augerilla. Pohjamaasta otetaan samassa yhteydessä näytteet, joista tutkitaan rakeisuus ja vesipitoisuus.



Kuva 12. Rakeisuuskäyrä hienontuneesta, huonolaatuisesta kantavan kerroksen yläosasta



## 4 VAURIOTYYPIT

### 4.1 Päällysteestä aiheutuvat

Vanhassa päällysteessä voidaan havaita kiviaineksen ominaisuuksista tai bitumimäärästä johtuvia tai muita päällystysteknisiä syitä, jotka ovat johtaneet päällysteen vaurioitumiseen. Mikäli tien rakennekerrokset ja alusrakenteet ovat teknisesti hyväkuntoiset ja paksuudeltaan riittävät, on ilmeistä, että vaurio on aiheutunut yksistään päällysteessä olevasta teknisestä puutteesta.

Päällysteen kuntoa voidaan mitata 1 GHz:n antennilla maatutkaamalla. Mittauksessa voidaan nähdä päällysteen paksuus ja päällysteen laadunvaihtelut. Päällysteen pintakunto mitataan PTM-autolla ja samassa yhteydessä tehtävällä vauriokartoituksella.

### 4.2 Rakennekerroksista aiheutuvat

Rakennekerrokset voivat olla laadultaan huonoja, kerrokset liian ohuita tai keskenään sekoittuneita. Erityisesti kantavan kerroksen yläosan laadulla voi olla suuri merkitys päällysteen vaurioitumiseen.

Kun vaurioiden syyt tai niihin johtavat tekijät ovat kantavassa kerroksessa, ja erityisesti sen yläosan hienoaineksessa, tulevat syyt esiin 1 GHz:n maatutkaluotauksessa. Tutka-analyysissä voidaan havaita kantavan materiaalin laatupoikkeamat. Jos tien pintakunto ei ole tutkimuksen aikana vielä huono, sen kestoikä on kuitenkin ennustettavissa varsin lyhyeksi.

Kantavuuspuutteet ilmenevät kantavuusmittaustuloksista huonona pinta-kantavuutena tai taipumasuppilosta lasketuista indekseistä (SCI, BCI). PTM-mittauksissa heikko kantavuus ilmenee urina, halkeiluna ja reunapainumina. Kantavuuspuutteet ovat yleensä seurausta puutteellisista rakennekerroksista tai rakennekerroksissa ilmasto- ja kuormitusrasitusten seurauksena tapahtuneista muutoksista, kuten kerrosten sekoittumisesta pohjamaan kanssa.

### 4.3 Alusrakenteesta/pohjamaasta aiheutuvat

Alusrakenteen ja pohjamaan maalaji ja kosteusolot näkyvät tierungon kunnossa. Puutteellinen kuivatus ja veden virtaus tierungon alle ovat merkittäviä vaurioiden aiheuttajia.

Maatutkalla 500 MHz:n antennilla luotaamalla voidaan havaita pohjamaan laadun vaihtelut ja epäjatkuvuuskohdat, joiden perusteella voidaan arvioida vaurioiden syyt. Täydentävinä mittauksina käytetään pudotuspainolaitetta ja näytteenottoa, joilla saadaan tarkentavaa tietoa pohjamaan laadusta.

Tien pituussuuntaiset halkeamat, erityisesti keskihalkeama routivalla pohjamaalla, aiheutuvat yleensä routimisesta. Halkeilu havaitaan päällystevaurioinventoinnissa ja on helposti paikannettavissa GIS:n avulla.

Maatutkaluotauksella voidaan havaita routimattoman tierakenteen ja routivan alusrakenteen/pohjamaan rajapinta. Tällöin voidaan havaita myös puutteet rumpujen ja routimisolosuhteiden muuttumiskohtien siirtymäkiilarakenteissa.

Pohjamaan routimisesta aiheutuvat routavauriokohdat voidaan havaita maatutkalla ja routanousumittauksilla, jotka voivat perustua robottitakymetrimittaukseen tai PTM-autolla suoritettuun lyhyen välin tasaisuusmittaukseen. Perusmaan routivuutta voidaan mitata nopeasti routasondilla tien ulkoluiskasta.

Painumavauriot aiheutuvat pehmeästä pohjamaasta, joka voi olla turvetta tai koheesiomaata. Maatutka soveltuu erinomaisesti turvepehmeikköjen paikallistamiseen ja turpeen paksuuden mittaukseen. Johtavien koheesiomaiden mittauksiin voidaan käyttää maavastusluotausta. Tutkimustulosten perusteella voidaan arvioida, onko painuminen päättynyt vai onko tien elinkaaren aikana odotettavissa merkittäviä painumia, jotka voivat vaikuttaa tien liikennöitävyyteen ja palvelutasoon.



## **5 KORJAUSTOIMENPITEET**

### **5.1 Uudelleen päällystys**

Mikäli tie on rungoltaan ja rakenteiltaan vaurioitumaton ja saatujen mittaus- tulosten perusteella ei vaurioitumista ole odotettavissa, voidaan tie uudelleenpäällystää ilman perusparannustoimenpiteitä. Päällysteen yksityiskoh- taisen suunnittelun tekee päällystesuunnittelija. Suunnittelun lähtötietoina ovat mittauksista saatu päällysteen paksuus, sivukaltevuus, tasaisuus, urat ja mahdolliset laboratoriotutkimustulokset vanhan päällysteen sideainepitoi- suudesta ja rakeisuudesta. Pudotuspainomittauksista saadaan takaisinlas- kennalla materiaalien moduulit.

### **5.2 Kuormituskestävyyden parantaminen**

Kuormituskestävyyttä voidaan parantaa kasvattamalla rakennekerrosten vahvuutta tai parantamalla olemassaolevien kerrosten ominaisuuksia stabi- loimalla. Pudotuspainomittausten taipumatuloksista voidaan arvioida ker- rosten moduulit ja mitoittaa rakenteen vahvistustarve. Mitoituksen tekee tiesuunnittelija analyttisellä mitoitusmenetelmällä tai pintakantavuusarvoi- hin ja materiaalimoduuleihin perustuvilla perinteisillä laskelmilla.

### **5.3 Routakestävyyden parantaminen**

Perusmaan routivuutta arvioidaan routasondi- ja maatutkamittaustulosten pohjalta. Tierakenteen routanousut mitataan routivilta tieosuuksilta robottita- kymetrimittauksella, jonka perusteella arvioidaan tierakenteen roudan sieto- kyky. Mikäli routanousun suuruus tai epätasaisuus on tierakennetta vau- rioittavaa, on routakestävyyttä parannettava. Korjaustoimenpiteen suunnit- telee tiesuunnittelija paikalliset olosuhteet sekä eristemateriaalien ja routi- mattomien maa-ainesten saatavuuden huomioiden.

### **5.4 Painumien korjaus**

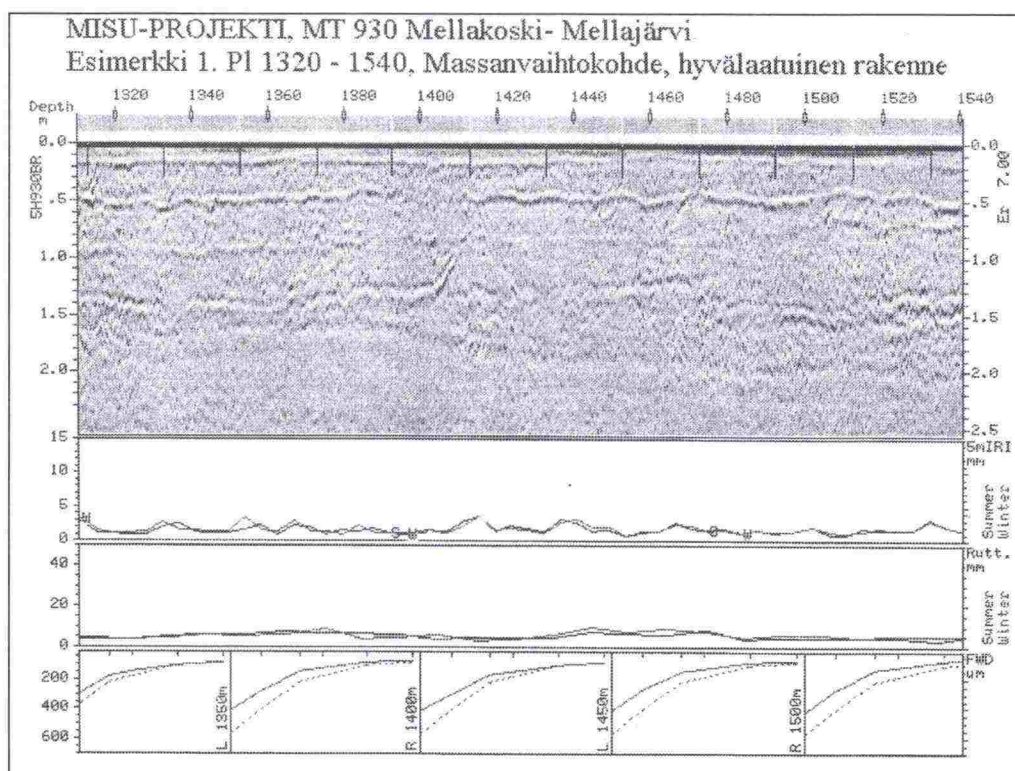
Maatutkalla ja maavastusluotauksella voidaan arvioida tierakenteen alla olevien pehmeiden maakerrosten kokonaispaksuus ja paksuuden vaihtelut tielinjalla. Tutkaluotauksesta voidaan havaita tierakenteen ja pohjamaan rajapinnassa näkyvät syntyneet painumat. Painumalaskelmien tekemiseksi on pohjamaasta otettava näytteitä, joiden perusteella voidaan arvioida maa- perän kokoonpuristuvuusominaisuuksia. Geotekninen suunnittelija voi näi- den lähtötietojen pohjalta arvioida painumien suuruusluokan ja niiden aihe- uttaman vaurioriskin. Painuman korjausmenetelmän suunnittelee geotekni- nen suunnittelija.

## 6 ESIMERKKEJÄ KOEKOhteILTA

### 6.1 Esimerkkejä mt 930 Mellakoski - Mellajärvi tieanalyysidatas- ta (Timo Saarenketo)

Seuraavassa on esitetty esimerkein, miten erilaiset tieosat voidaan tie-  
analyysissä analysoida, kun maatumittaukset yhdistetään 5m-IRI-  
-arvo, uraisuus sekä pudotuspainomittaukset. Tähän raporttiin on py-  
ritty hakemaan tyypillisiä esimerkkejä hyväkuntoisista tieosista, routavau-  
riokohteista sekä kohteista, joissa esiintyy eri syistä johtuvia kantavuus-  
puutteita.

**Esimerkki 1. Pl. 1320 - 1540** Massanvaihtokohde, hyvälaatuinen rakenne  
(Kuva 13).



Kuva 13. Tieanalyysidata massanvaihtokohteesta, hyvälaatuinen rakenne

**Analyysi:**

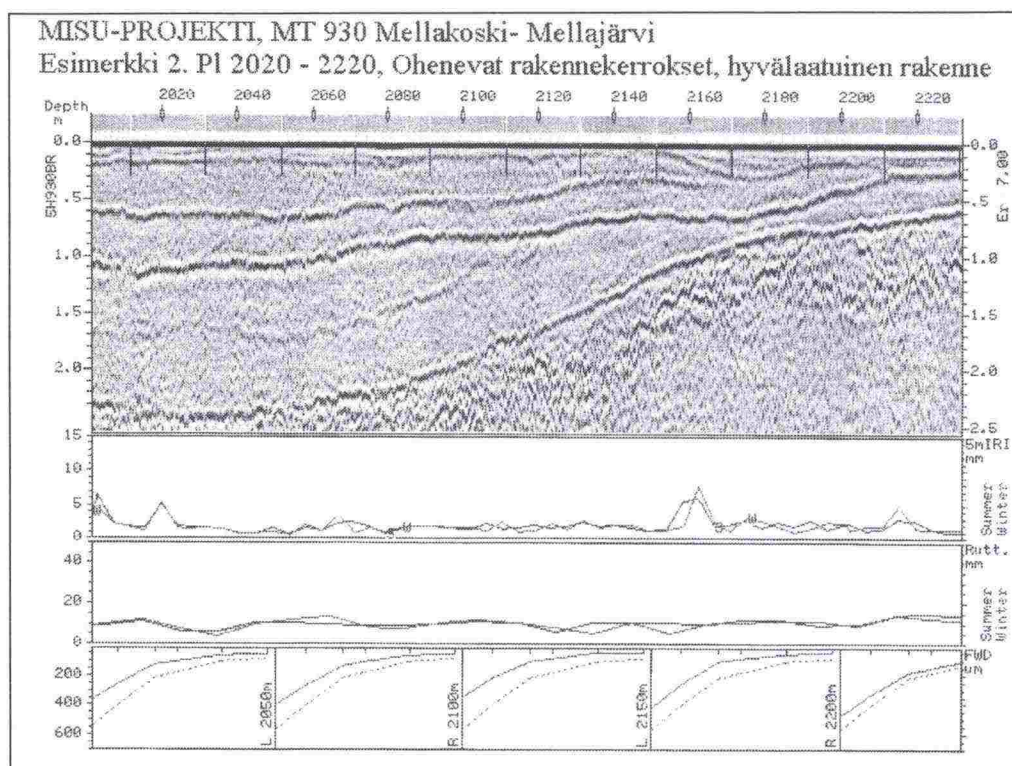
Kohteessa on suoritettu onnistunut massanvaihto, jonka rakenne on seu-  
raava: syvyydellä 0,1 - 0,2 m kantavan kerroksen alapinta, noin 0,5 m jaka-  
van kerroksen alapinta, 1,5 m suodatinkerros (todennäköisesti hkSr). Ku-  
vassa näkyvä heikko heijastus 1,7 - 2,0 m:n syvyydellä on todennäköisesti  
pohjavesipinta. Kohteessa ei ole epätasaisia routaheittoja tai painumia,  
urasyvyys on alhainen ja PP-laitteen taipumat ovat pieniä.



Korjaussuositus:

Esimerkkikohde ei tarvitse välttämättä mitään korjaustoimenpiteitä, korkeintaan päällyste voidaan uusia.

**Esimerkki 2. Pl. 2020 - 2220** Ohenevat rakennekerrokset, hyvälaatuinen rakenne (Kuva 14).



Kuva 14. Tieanalyysidata ohenevista rakennekerroksista, hyvälaatuinen rakenne

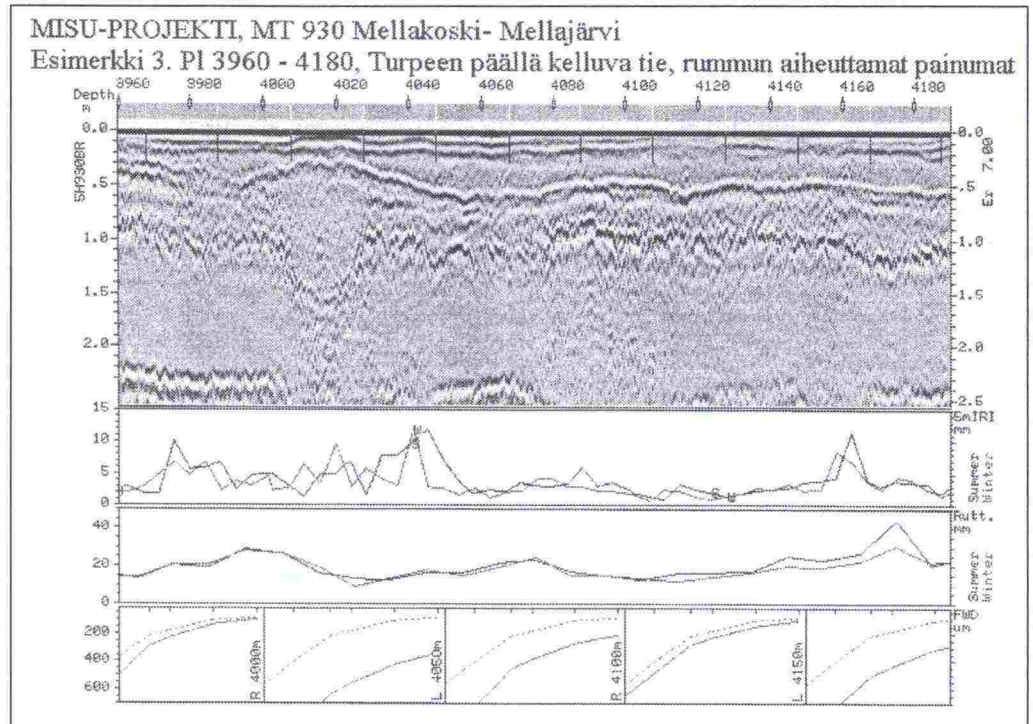
Analyyysi:

Kohteena on kokonaisrakennepaksuudeltaan 2,3 m:stä 0,5 m:iin oheneva hyvälaatuinen tierakenne. Tien routakestävyys on hyvä ja kerrokset eivät ole sekoittuneet keskenään. Kohteen ainoa routaheitto, sekin lievä, sijaitsee kohdassa, jossa kerrospaksuus on 1,1 - 1,3 m. Rakennekerrosten oheneminen näkyy selkeästi taipumasuppiloiden muodoissa paaluilla 2150 ja 2200.

Korjaussuositus:

Kohde ei tarvitse korjaustoimenpiteitä, remixerstabilointivahvuutta tulisi vahvistaa ohuempien kerrosten kohdalla.

**Esimerkki 3. Pl. 3960 - 4180** Turpeen päällä kelluva tie, rummun aiheuttamat "painumavauriot" (Kuva 15).



Kuva 15. Tieanalyysidata, turpeen päällä kelluva tie ja rumpu

**Analyysi:**

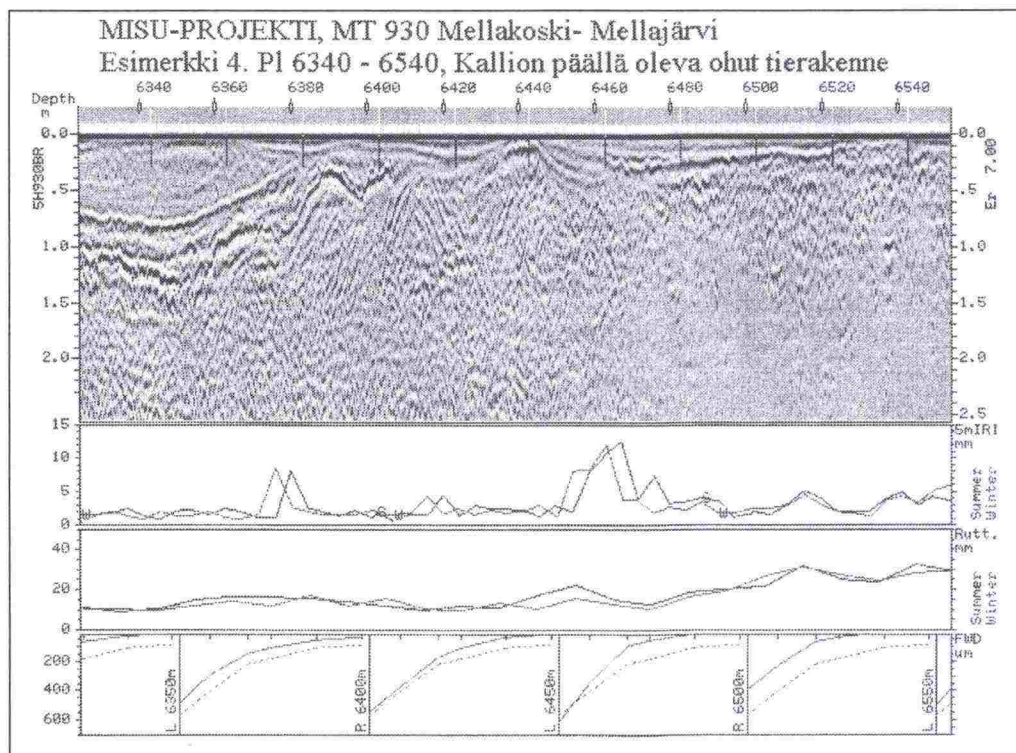
Kohde on hyvä esimerkki turpeen päälle rakennetusta tiestä, jossa paalulle 4015 kovaan pohjaan rakennetun rummun molemmiin puolin tapahtunut tien painuma on aiheuttanut pituussuuntaista epätasaisuutta, mikä heijastuu IRI-arvoissa välillä 3970 - 4060. Kuvasta 15 voidaan päätellä, että tiepenger on painunut rakentamisen jälkeen 40 - 50 cm. Kohteessa on suuria kantavuuspuutteita, mikä näkyy suurina urasyvyyksinä ja suurina PP-laitteen taipumina.

**Korjaussuositus:**

Kohteen parantamisessa lienee syytä nostaa tasausviivaa 40 - 50 cm (jos on varaa), jonka jälkeen rakenne voidaan vielä vahvistaa stabiloinnilla. Tämä ei kuitenkaan tule estämään sitä, että rummun ympärille muodostuu uusi, mutta tällä kertaa lievempi painumavaurio ja poikkihalkeamia.



**Esimerkki 4. Pl. 6340 - 6540** Kallion päällä oleva ohut tierakenne (Kuva 16).



Kuva 16. Tieanalyysidata, kallion päällä oleva ohut tierakenne

**Analyysi:**

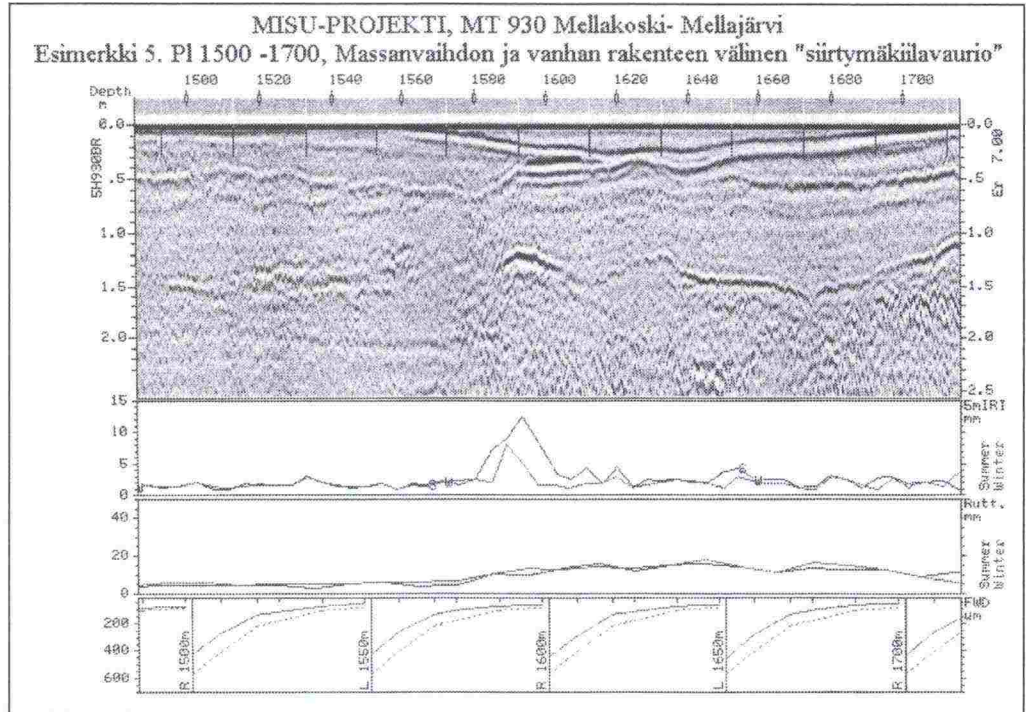
Kohteessa kallio on lähellä taseusviivaa ollen paalulla 6340 noin 1 m:n syvyydellä ja paalulla 6390 jo lähes tien pinnassa. Kallion läheisyys näkyy selkeästi PP-laitteen kauempien geofonien taipuma-arvoissa. Urasyvyys korreloi negatiivisesti kerrospaksuuden kanssa, mikä osoittaa, että kallion päälle rakennetut erittäin ohuet rakenteet ovat pettäneet. Tämä näkyy selkeästi myös PP-laitteen lähigeofonien suurissa taipuma-arvoissa ja suppilon muodossa. Kohteeseen on muodostunut myös kaksi routaheittoa, toinen ns. siirtymäkiilaheitto paalulla 6370 ja toinen, joka johtuu kosteuden kertymisestä kalliotaskuun, paaluvälillä 6450 - 6470.

**Korjaussuositus:**

Kohteen parantamisessa tulisi korjata massanvaihdolla ainakin paaluvälin 6450 - 6470 routaheitto ja samalla varmistaa kohteen kuivatus. Rakenteen vahvistamiseksi tulisi pettänyt vanha päällysrakenne stabiloida ja samalla mahdollisuuksien mukaan lisäkiviaineksella vahvistaa rakenteen kokonaisvahvuutta ainakin paalulta 6520 alkaen.



**Esimerkki 5. Pl. 1500 - 1700** Uuden ja vanhan rakenteen välinen "siirtymäkiilavaurio" (Kuva 17).



Kuva 17. Tieanalyysidata, siirtymäkiilavaurio

**Analyysi:**

Kohteessa näkyy tyypillinen vaurio, joka aiheutuu, kun massanvaihtokohteen ja vanhan rakenteen rajalle paaluvälillä 1580 - 1600 on siirtymäkiilat jätetty rakentamatta. Rakentamisen aikana on osattu epäillä routaheittoa ja siksi eristyslevyt on asennettu paaluvälille 1590 - 1610 noin 0,5 m:n syvyydelle, mutta tämä ei ole estänyt routaheiton syntyä. Kasvaneet urasyvytykset osoittavat vanhan rakenteen alkavan väsymisen merkkejä.

**Korjaussuositus:**

Rakenteen korjaamiseksi tulisi rakentaa oikeaoppinen siirtymäkiila paaluvälille 1570 - 1615. Kuormituskestävyyden parantamiseksi Remixer-stabilointisyvyyttä tulisi kasvattaa vanhan rakenteen päällä. Massanvaihtorakenteessa riittää mahdollisesti päällysteen uusiminen.

**6.2 Esimerkkejä mt 939 Kolari - Kurtakko tieanalyysidatasta (Pekka Maijala)**

Seuraavissa esimerkeissä on keskitytty esittelemään erilaisia tieanalyysissa käytettävien mittauksien esitysmuotoja. Kuvat on tehty Road Doctor -ohjelmistolla. Tulosteet voidaan tuottaa kuvien kaltaisena myös monitorille interaktiivista tulkintaa ja näyttöparametrien muokkausta varten. Paperitulosteessa ja näytöllä voi olla tutkakuvan lisäksi maksimissaan 5 muuta mitaustietoa. Timo Saarenkedon tekemissä tieanalyysiesimerkeissä (Luku 6.1

*Esimerkkejä mt 930 Mellakoski - Mellajärvi tieanalyysidatasta (Timo Saarenketo)) on käytetty näyttökopioita. Tieanalyysia tekevä voi nopeasti vaihtaa vertailutietoina käytettäviä aineistoja.*

Kunnostettavasta tieosasta oli käytettävissä 1 GHz:n, 500 MHz:n ja 200 MHz:n maatutka-antenneilla tehdyt luotaukset, osalta mittausprofiilia robotitakymetrillä määritetyt korkeudet sekä pudotuspainolaite-, PTM-auto ja routasondimittaukset.

**Esimerkki 1. Pl. 2400 - 2900** Kolari - Kurtakko, topografian mukaan korjattu tutkakuva (*Kuva 18*).

*Kuvassa 18 on esitetty vaurioitunut tiekohde. Tutkakuva on esitetty robotitakymetrillä syksyllä 1997 mitattujen korkeustietojen mukaan topografiakorjattuna. Hyvälaatuisen korkeustiedon ansiosta tutkakuvan pinnan korkeusvaihteluista voi jo suoraan nähdä pahimpia heittopaikkoja, kuten esimerkiksi välillä 2550 - 2600. Lisäksi korkeustiedon avulla on mahdollista varmemmin paikantaa mahdollisia kosteusvauriokohteita ja syitä kerrospaksuuksien vaihtelulle. Esimerkissä 2 on esitetty sama tieto ilman topografiakorjausta (*Kuva 19*). Tutkakuvan vasemmassa reunassa kerrospaksuudet ovat pienet, mikä selittyy esimerkin 1 perusteella nopeasti sillä, että kerrokset on jätetty kummun päällä ohuiksi. Esimerkistä 2 tätä ei voi päätellä. Vastaava koskee kuvan keskellä olevan laaksopaikan paksuja rakennekerroksia.*

*Kuvassa 18 on lisäksi esitetty PTM-autolla mitatut 5m-IRI- ja uraisuustieto sekä PP-laitteella mitattu taipumasuppilo ja lasketut taipumaindeksit. Indeksinä on esitetty kahden ensimmäisen geofonin erotuksena laskettu SCI ja kahden kaukaisimman geofonin erotuksena laskettu BCI. BCI on esitetty 10-kertaisena skaalausteknisistä syistä. Kolmantena parametrina on esitetty kimmomoduuli (E2). Kultakin mittauskohdalta on esitetty kaksi taipumasuppiloa, joista katkoviivalla on esitetty vertailukohtana käytetty suppilo ja yhteinäisellä viivalla ko. paikalla mitattu suppilo. Vertailusuppilo on tässä tapauksessa saatu laskemalla keskiarvo koko tieosan kaikista taipumasuppiloista.*

**Esimerkki 2. Pl. 2400 - 2900** Kolari - Kurtakko, tutkakuva ilman topografiakorjausta (*Kuva 19*).

*Kuvassa 19 on esitetty esimerkin 1 tutkakuva ilman korkeustietoja. Lisäksi taipumaindeksejä ei ole esitetty.*

**Esimerkki 3. Pl. 400 - 900** Kolari - Kurtakko, rautatiesiltapenger (*Kuva 20*).

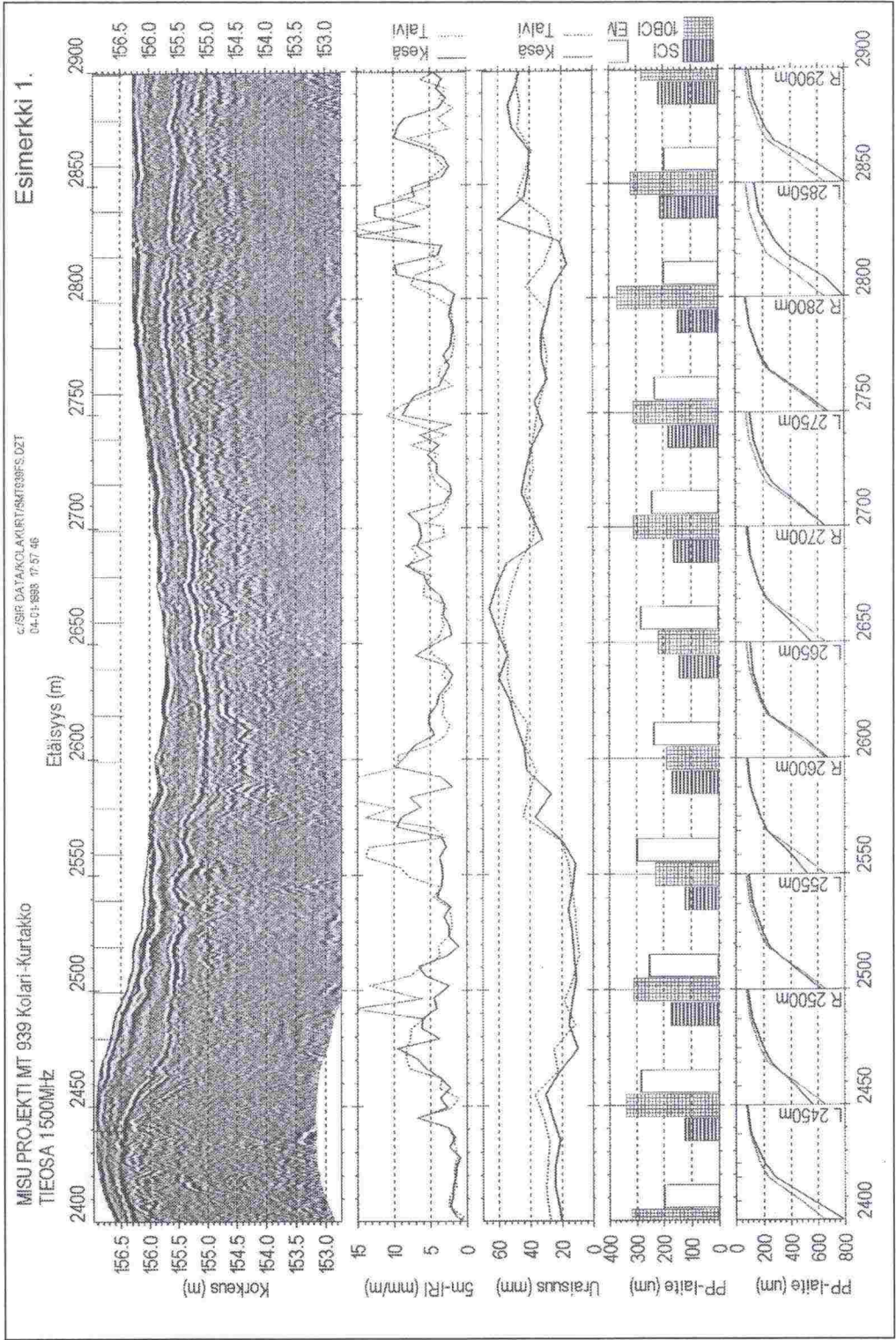
*Kuvassa 20 on esitetty mittausaineisto tieosan alussa sijaitsevasta rautatiesiltapenkereestä. Rautatiesilta näkyy kohdalla pl. 725 - 762. Ennen siltaa olevat painumavauriot näkyvät selvästi 5m-IRI -mittauksen tuloksesta. Myös kantavuus on tielinjan keskimääräistä arvoa huonompi, mikä näkyy taipumasuppiloissa.*



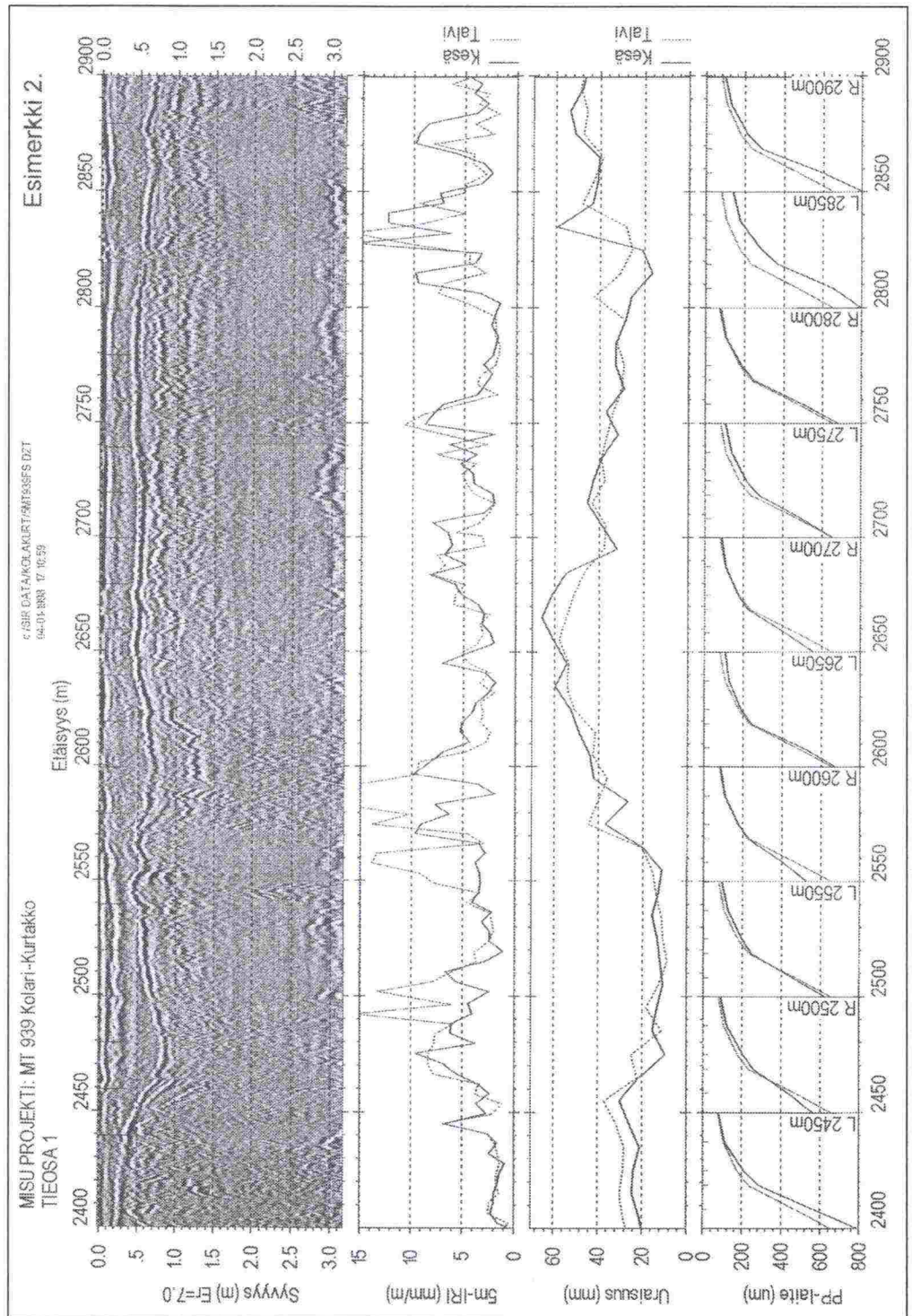
**Esimerkki 4. Pl. 2000 - 3000** Kolari - Kurtakko, päällysteen (+ kantavan kerroksen) paksuusmittaus (*Kuva 21*).

*Kuvassa 21* on esitetty 1 GHz:n antennilla mitattu tutkadata, jossa näkyy ylimpänä kerroksena 5 - 10 cm:n paksuinen päällyste ja sen alapuolella yhdistetyn kantavan ja jakavan kerroksen alapinta. Toisena datana on päällysteen pinnasta laskettu päällysteen Er-arvo (alempi viiva) ja kantavan kerroksen pinnasta laskettu kantavan kerroksen Er-arvo (ylempi viiva). Lasketut Er-arvot ovat tässä tapauksessa korjaamattomia ja kuvaavat lähinnä suhteellisia eroja. Lisäksi on esitetty megakarkeus ja antennin heilahtelu mittauksen aikana. Megakarkeuden avulla voidaan selvittää alueita, joissa päällysteen pinta on vaurioitunut. Heilahtelun perusteella voidaan paikantaa alueita, joilla päällysteessä on katkeamia tai muita epätasaisuuksia. Datasta on suodatettu pois auton matalataajuinen heilahtelu, joka aiheutuu tuulen vaikutuksesta, kiihdytyksistä ja matkustajien liikkumisesta autossa.





Kuva 18. Tieanalyysidata, topografian mukaan korjattu tutkakuva

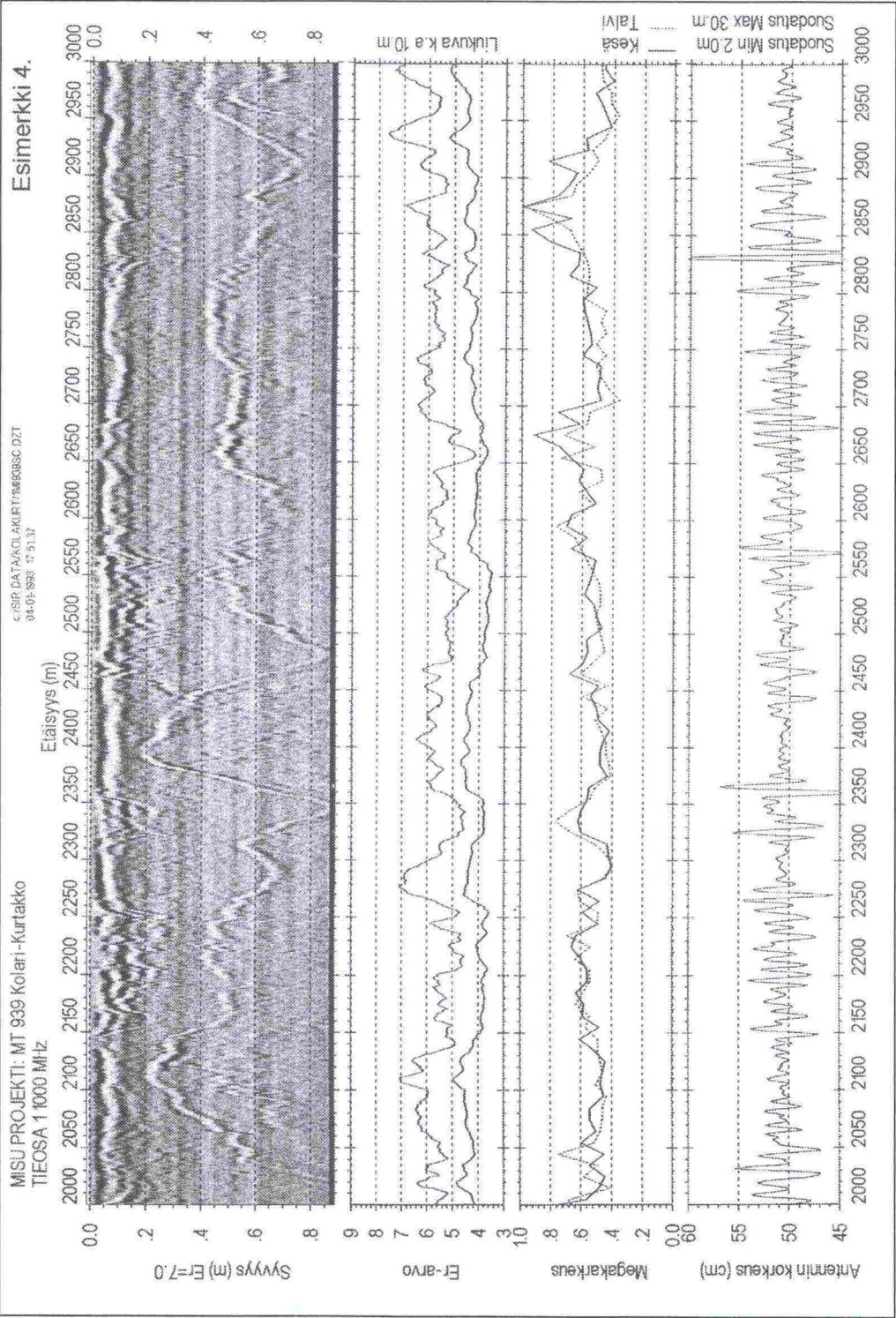


Kuva 19. Tieanalyysidata, tutkakuva ilman topografiakorjausta









Kuva 21. Tieanalyysidata, päällysteen ja kantavan kerroksen paksuus

## 7 YHTEENVETO

Eri tutkimusmenetelmien soveltuvuutta rakenteen parantamisen suunnittelussa on arvioitu oheisessa taulukko-yhteenvedossa (Taulukko 4).

Taulukko 4. Tutkimusmenetelmien soveltuvuus (jatkuu seur. sivulla)

Tutkimus- tekniikka	Sovellukset rakenteen parantamisen suunnitte- lussa	Mittausteho (työvuoro), henkilöstö	Huomioita, plussat ja miinukset
Palvelutaso- mittausauto (PTM)	– 5m-IRI -mittaukset – uramittaukset – mega- ja makrokarkeus	– 50 - 100 km, 1 - 2 henki- löö	+ routaheittojen ja painu- mien paikantaminen + urat ja reunapainumat + nopea – olosuhdeherkkä – ei sivukaltevuutta
Maatutka- luotaus (GPR)	– päällysteen paksuus – päällysrakennekerros- ten paksuus ja laatu – pohjamaan laatu – tien vauriot, niiden syy ja laajuus	– 1 - 10 km (uusi tielin- ja), 2 henki- löö – 20 - 200 km (tiemittauk- set), 1 - 2 henkilöö	+ jatkuva profiili + voidaan mitata myös tal- vella + dielektrisyiden antamat tiedot – savialueet, soratiet – tulkinta vaativaa – olosuhdeherkkä
Pudotus- painolaite (PP)	– tien kantavuus – rakennekerrosten jäyk- kyys – pohjamaan laatu	– 200 pistettä, 1 henkilö	+ simuloi todellista tien tai- pumaa + luotettava – kuvaa mittausaikaista kantavuutta – lämpötilaherkkä
Maavastus- luotaus (DC)	– pohjamaan laatu – pohjamaan paksuus	– 200 - 600 m, 1 - 2 henki- löö	+ tehokas savi- ja siltialu- eilla + painumalaskelmat – tulkinta vaativaa – ohuiden kerrosten peitty- minen – erottelukyky suurilla vas- tusarvoilla
Routasondi (RS)	– pohjamaan laatu – pohjamaan routivuus – luiskien stabiilisuus	– 4 - 8 km, 1 - 2 henkilöä	+ nopeaa tietoa pohjamaan routivuudesta – mittausreiän tekeminen työlästä
Video	– tien kunnon kartoittami- nen: vauriot, halkea- mat, kuivatukset, taso yms.	– 100 - 300 km, 1 - 2 henkilöö	+ nopea, halpa + helpottaa muiden mitta- ustulosten tulkintaa – valaistusolosuhteet – syvyys-suhteiden havain- nointi

Taulukko 4. Tutkimusmenetelmien soveltuvuus (jatkoa)

<i>Paikannus- tekniikka</i>	<i>Sovellukset rakenteen parantamisen suunnitte- lussa</i>	<i>Mittausteho (työvuoro), henkilöstö</i>	<i>Huomioita, plussat ja miinukset</i>
GPS- paikannus	<ul style="list-style-type: none"> <li>– tien keski- ja reunalinjan koordinaatit (x,y,z)</li> <li>– routavaaitukset</li> <li>– sivukaltevuus</li> </ul>	– 10 - 15 km, 1 - 2 henkilöä	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ nopea ja halvempi kuin takymetri</li> <li>– katve-ongelmat</li> <li>– tarkkuudesta ei täsmällistä tietoa</li> <li>– GPS-mittausauto kallis, laitteistoja vähän</li> </ul>
Robotti- takymetri	<ul style="list-style-type: none"> <li>– tien keski- ja reunalinjan koordinaatit (x,y,z)</li> <li>– routavaaitukset</li> <li>– sivukaltevuus</li> </ul>	– 2 - 4 km, 2 henkilöä	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ tarkempi kuin GPS</li> <li>+ suuri pistetiheys</li> <li>+ halpa ja suhteellisen nopea menetelmä</li> <li>+ välineitä voi käyttää muis- sakin mittauksissa</li> <li>+ parantaa routavaaitusten liikenneturvallisuutta</li> <li>– katveongelmat mäkisillä ja mutkaisilla teillä</li> </ul>
<i>Esitys- tekniikka</i>			
GIS- järjestelmät	– eri mittaustulosten tutki- mus ja esittäminen eri- laisilla karttapohjilla		<ul style="list-style-type: none"> <li>+ tutkimustulosten yhdistä- minen</li> <li>+ tulosten katselu esim. geologisilla karttapohjilla</li> </ul>



ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-544-1  
TIEL 3200568